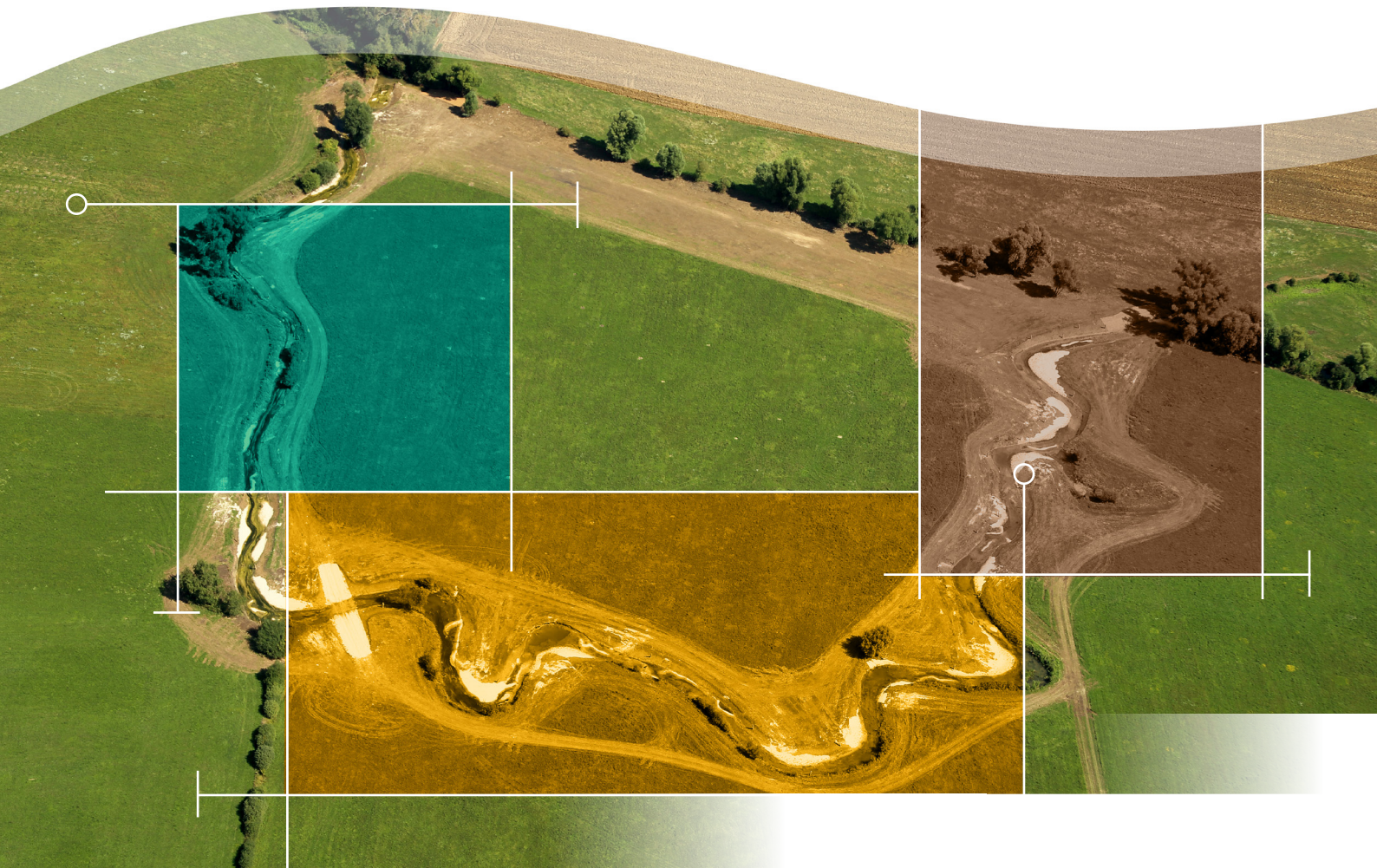


GUIDE

pour l'élaboration de suivis d'opérations
de **restauration hydromorphologique en
cours d'eau**



Ce guide s'inscrit dans le cadre du projet de « Suivi scientifique minimal », d'après les travaux de Navarro *et al.* (2012) : *Aide à la définition d'une étude de suivi - recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau* et Malavoi *et al.* (2010) : *Éléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal*.

Structuré en trois parties, le guide propose des préconisations de suivi dans le cadre d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau.

La partie A est dédiée au contexte général, à la définition du suivi, des différentes échelles et de la chronologie du suivi, et au processus de bancarisation des données.

La partie B se présente sous la forme de fiches par type d'opération de restauration hydromorphologique, détaillant le suivi à mettre en place.

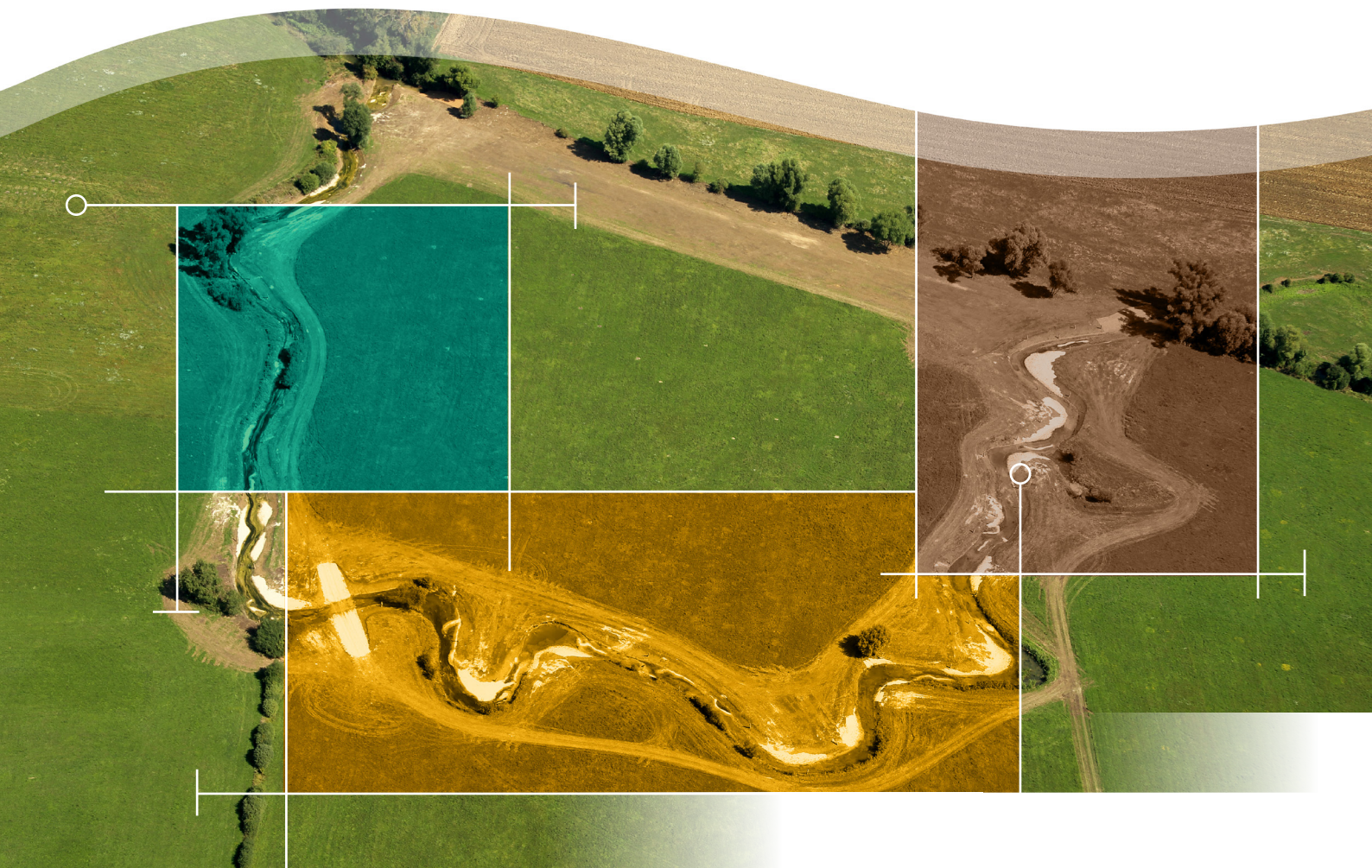
La partie C détaille les différents protocoles à mettre en place et propose des éléments d'interprétation.

Le suivi proposé peut être mis en place sur des cours d'eau permanents, de largeur mouillée d'au moins 1 m et prospectables à pied (hors emprise d'une retenue). Ces restrictions sont liées aux limites d'application des différents protocoles.

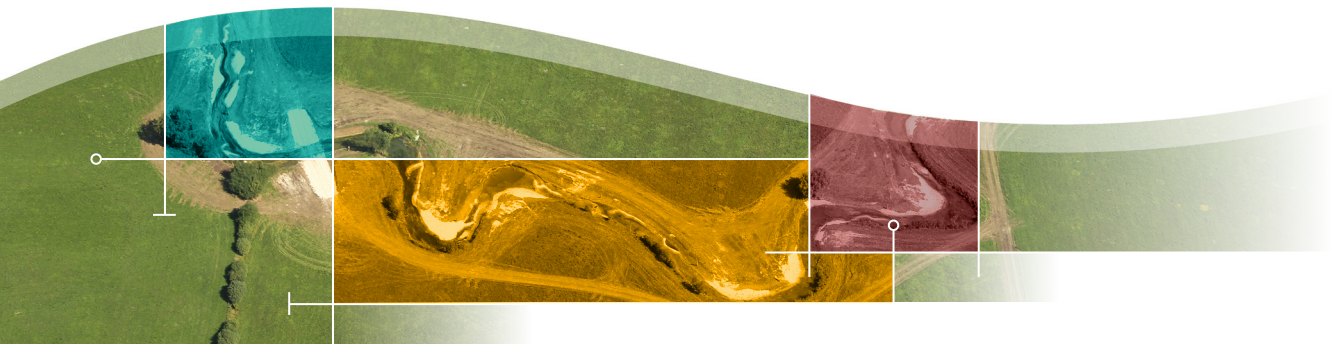
Les sites utilisés en illustration dans ce document sont utilisés à des fins de communication sans présager nécessairement l'existence ou la connaissance de quelconques mesures d'aménagement envisagées ou de compensation connues. Leur utilisation en illustration de ce document n'implique pas nécessairement que des visites sur le terrain ont eu lieu sur ces sites. Ils sont choisis à des seules fins illustratives.

GUIDE

pour l'élaboration de suivis d'opérations
de **restauration hydromorphologique en
cours d'eau**



Marlène Rolan-Meynard, Anne Vivier, Yorick Reyjol, Laetitia Boutet-Berry, Julien Bouchard, Pierre Mangeot, Lionel Navarro, Gabriel Melun, Bastien Moreira-Pellet, Michel Bramard, Mikaël Le Bihan, Claire Magand, Timothée Leurent, Thibault Vigneron, Michaël Cagnant, Xavier Bourrain, Astrid Morel, Karl Kreutzenberger



Auteurs

Comité de coordination

Anne Vivier, AFB, anne.vivier@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Marlène Rolan-Meynard, Irstea, marlene.meynard@irstea.fr (Centre d'Aix-en-Provence, UR RECOVER, équipe FRESHCO)

Yorick Reyjol, AFB, yorick.reyjol@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Auteurs

Marlène Rolan-Meynard, Irstea, marlene.meynard@irstea.fr (Centre d'Aix-en-Provence, UR RECOVER, équipe FRESHCO)

Anne Vivier, AFB, anne.vivier@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Yorick Reyjol, AFB, yorick.reyjol@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Laetitia Boutet-Berry, AFB, laetitia.boutet-berry@afbiodiversite.fr (Direction régionale Centre-Val de Loire)

Julien Bouchard, AFB, julien.bouchard@afbiodiversite.fr (Direction régionale Bourgogne-Franche-Comté)

Pierre Mangeot, AERM, pierre.mangeot@eau-rhin-meuse.fr (Direction des politiques d'intervention)

Lionel Navarro, AERMC, Lionel.NAVARRO@eaumc.fr (Département planification et programmation)

Gabriel Melun, AFB, gabriel.melun@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Bastien Moreira-Pellet, AESN (Service Connaissance des milieux aquatiques au moment de la rédaction du document)

Michel Bramard, AFB, michel.bramard@afbiodiversite.fr (Direction régionale Nouvelle-Aquitaine)

Mikaël Le Bihan, AFB, mikael.le_bihan@afbiodiversite.fr (Direction interrégionale Bretagne-Pays de la Loire)

Claire Magand, AFB, claire.magand@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)

Timothée Leurent, AFB (Direction de la recherche, de l'expertise et des données au moment de la rédaction du document)

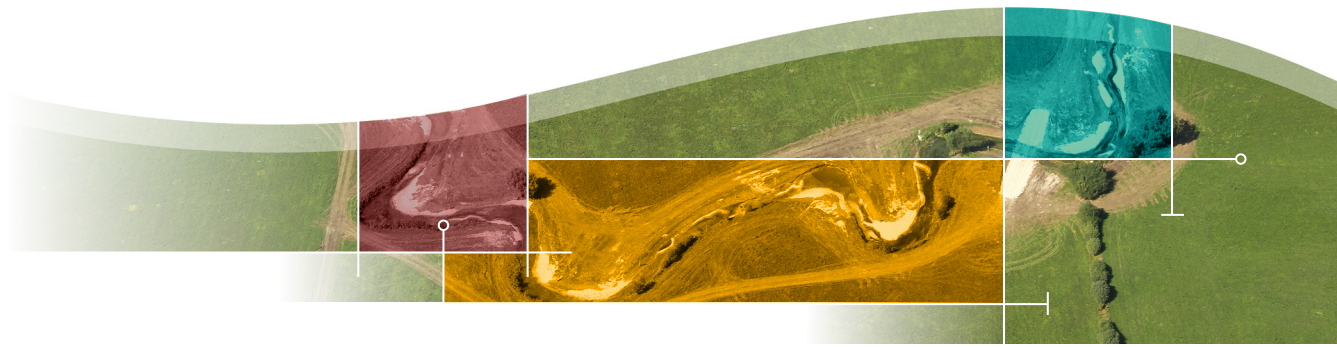
Thibault Vigneron, AFB, thibault.vigneron@afbiodiversite.fr (Direction interrégionale Bretagne-Pays de la Loire)

Michaël Cagnant, AFB, michael.cagnant@afbiodiversite.fr (Direction interrégionale Provence-Alpes-Côte d'Azur-Corse)

Xavier Bourrain, AELB, Xavier.BOURRAIN@eau-loire-bretagne.fr (Direction évaluation et planification)

Astrid Morel, AFB, astrid.morel@afbiodiversite.fr (Direction régionale Bourgogne-Franche-Comté)

Karl Kreutzenberger, AFB, karl.kreutzenberger@afbiodiversite.fr (Direction de la recherche, de l'expertise et des données)



Contributeurs et remerciements

Contributeurs et relecteurs

Bénédicte Augeard (AFB DRED), **Jérôme Belliard** (Irstea UR HYCAR), **Amandine Bichot** (AFB DAPA au moment de la rédaction du document), **Claire Bramard** (AFB DR Nouvelle-Aquitaine), **Vincent Burgun** (AFB DR Grand Est), **Anne Citterio** (AEAG DREMA), **Laurent Coudercy** (AFB DRED), **Pierre-Alain Danis** (AFB Pôle hydroécologie des plans d'eau), **Jean-Noël Gautier** (AELB Direction évaluation et planification), **Stéphane Jourdan** (AEAP Service Milieux aquatiques et maîtrise d'ouvrage), **Florent Lamand** (AFB DR Grand Est), **Yann Le Coarer** (Irstea UR RECOVER), **Céline Le Pichon** (Irstea UR HYCAR) **Florine Leveugle** (Oieau Service normalisation et systèmes d'information), **Jérôme Malbrancq** (AEAP Service Milieux aquatiques et maîtrise d'ouvrage), **Josée Peress** (AFB DRED), **Virginie Raymond** (Irstea UR RECOVER), **Nicolas Roset** (AFB DR Auvergne-Rhône-Alpes), **Evelyne Tales** (Irstea UR HYCAR), **Benoît Terrier** (AERMC Département planification et programmation), **Sophie Tuaux** (AFB DIR Normandie-Hauts de France), **Philippe Usseglio-Polatera** (UMR 7360 CNRS - Université de Lorraine), **Vincent Vauclin** (AFB DR Centre-Val de Loire), **Mathieu Zuarella** (Communauté de commune des Hautes-Vosges).

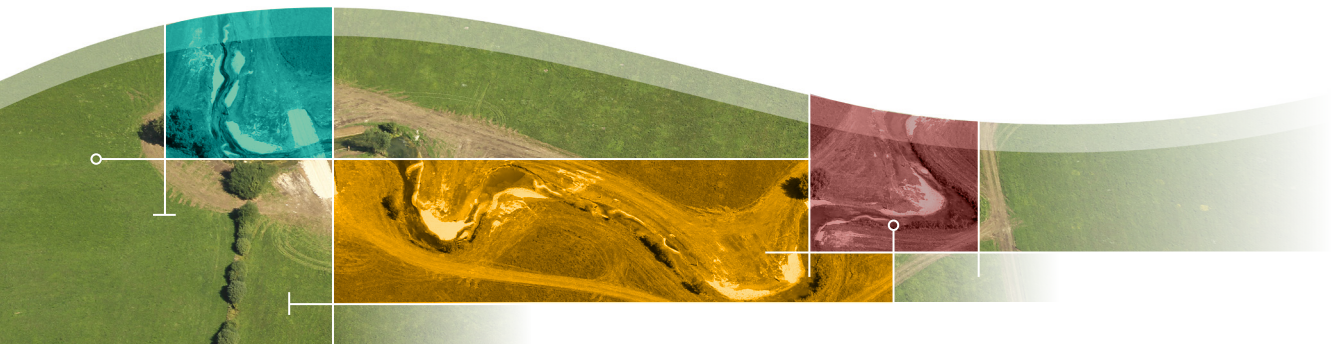
Remerciements

Le comité de rédaction tient à remercier chaleureusement l'ensemble des auteurs et contributeurs dont les compétences, l'investissement et la motivation ont permis l'aboutissement de ce travail. Ce guide est le fruit d'un long processus de maturation. C'était un chantier exigeant durant lequel nous avons dû faire des choix. Nous espérons qu'il saura profiter au lecteur autant qu'il nous a nourris collectivement.

Cet ouvrage n'aurait pu voir le jour sans les travaux menés préalablement dans le cadre du groupe d'harmonisation des suivis, à l'initiative des agences de l'eau, d'Irstea et de l'Onema (puis AFB). Ce groupe a produit les premières versions du suivi scientifique minimal et a conduit à la mise en œuvre de ce suivi sur plusieurs dizaines d'opérations de restauration. Ce sont sur ces fondations scientifiques et sur les retours d'expérience de terrain qu'a été construit le guide, permettant ainsi de capitaliser l'expérience de chacun.

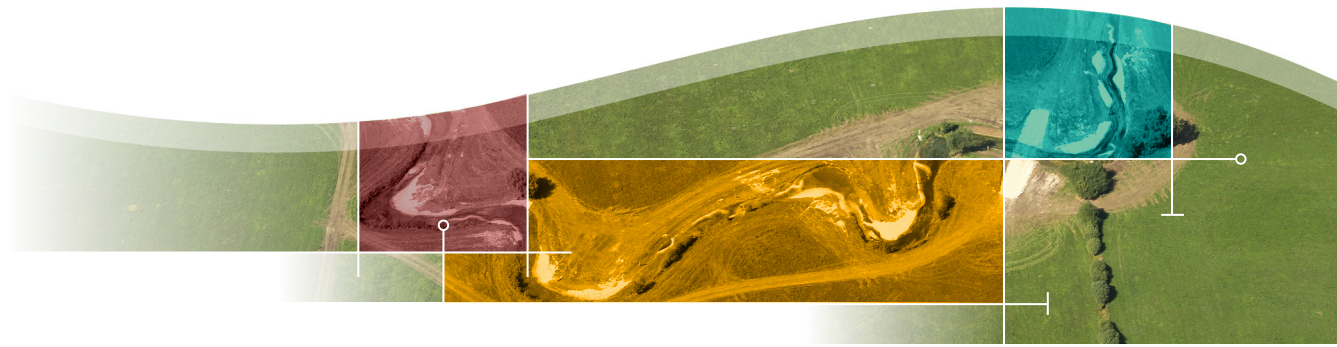
Nous tenons également à remercier les différents établissements partenaires de ce projet, ainsi que le ministère de la Transition écologique et solidaire pour leur soutien. Ce partenariat nous a offert le cadre institutionnel indispensable à l'aboutissement de ce guide, ainsi que les moyens de production, de valorisation et de diffusion nécessaire à sa bonne appropriation par les utilisateurs.

Nous tenons enfin à remercier tous ceux qui œuvrent sur le terrain à redonner vie à nos cours d'eau. Dans un contexte de changement global, il est aujourd'hui urgent de comprendre, préserver et restaurer nos milieux aquatiques.



Sommaire

Introduction générale	5
Partie A - Principes généraux	9
1 - Principes généraux de construction d'un suivi	10
2 - Critères d'éligibilité au suivi scientifique minimal (SSM)	13
3 - Échelles du suivi et éléments à suivre	15
4 - Types et positionnement des stations de mesure	18
5 - Points de prélèvement	23
6 - Chronologie des suivis	28
7 - Arbre de décision pour la mise en place du suivi en cas de restauration multiple	31
8 - Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal	32
Partie B - Fiches opérations	41
Fiche n° 1 - Reméandrage	43
Fiche n° 2 - Suppression d'ouvrage en travers	49
Fiche n° 3 - Contournement de plan d'eau	57
Fiche n° 4 - Remise dans le talweg	65
Fiche n° 5 - Reconstitution du matelas alluvial	71
Fiche n° 6 - Suppression des contraintes latérales	77
Fiche n° 7 - Modification de la géométrie du lit	83
Partie C - Fiches suivis	89
Fiche n° 1 - Hydromorphologie (échelle station)	91
Fiche n° 2 - Faune piscicole	97
Fiche n° 3 - Macro-invertébrés benthiques	101
Fiche n° 4 - Autres compartiments biologiques	103
Fiche n° 5 - Température	105
Fiche n° 6 - Physico-chimie	113
Fiche n° 7 - Photos	121
Fiche n° 8 - Profil en long et faciès d'écoulements	133
Fiche n° 9 - Hydrologie	141
Fiche n° 10 - Connexions avec la nappe	167
Fiche n° 11 - Reconnaissance terrain	173
Fiche n° 12 - Exemple de présentation par opération	175
Partie D - Annexes	177
Glossaire	178
Codes support Sandre	182
Informations à fournir pour la BDD du SSM	184
Bibliographie	186



Introduction générale

<https://eur-lex.europa.eu/legislation-content/FR/TXT/?uri=LEGIS-SUM%3A128002b>

<http://www.trameverteetbleue.fr/>

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-biodiversite>

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/adaptation-france-au-changement-climatique>

<https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/138>

<http://www.therrc.co.uk/>

<http://www.cirf.org/en/home-9/>

<http://www.ecrr.org/>

<http://www.reformrivers.eu/about>

https://restorerivers.eu/wiki/index.php?title=Main_Page

La restauration hydromorphologique des cours d'eau¹ est un sujet d'étude qui fait actuellement l'objet d'un intérêt croissant. En effet, d'un point de vue législatif, la directive cadre européenne sur l'eau (DCE), qui énonce les objectifs d'atteinte de bon état des cours d'eau, accorde une importance majeure à l'hydromorphologie pour l'atteinte de ces objectifs. L'état des lieux réalisé en 2013 dans le cadre de sa mise en œuvre fait état de 40 % des masses d'eau cours d'eau² en risque de non-atteinte des objectifs environnementaux du fait d'altérations de la morphologie. De nombreuses politiques publiques font également appel à la restauration des milieux comme la trame verte et bleue, la stratégie nationale biodiversité, le plan national d'adaptation au changement climatique, soulignant également la nécessité de porter attention à ce domaine d'étude encore récent [1].

Ainsi, plusieurs centres de ressources nationaux (centre de ressources sur les cours d'eau, *the river restoration centre - RRC*, *centro Italiano per la riqualificazione fluviale CIRF...*) et européens (*european centre for river restoration - ECRR*) ont été créés, et des projets scientifiques (*Reform*, *Restore*) ont été lancés, sur la thématique de la restauration des cours d'eau en général, dont la restauration de l'hydromorphologie.

La littérature scientifique, notamment par le biais d'études de cas ou de méta-analyses, se penche sur la question des trajectoires suivies, d'une part par l'hydromorphologie, d'autre part par les communautés biologiques, suite à une opération de restauration [2-4]. Ces travaux révèlent une grande variabilité dans ces trajectoires. Ainsi, les travaux menés dans le cadre du programme *Reform*, de *Kail et al.*[3] montrent que la restauration a en moyenne des effets positifs sur les communautés biologiques, mais que les réponses sont très variables d'un site à l'autre. Les travaux menés par *Roni et al.*[2] indiquent quant à eux qu'il est difficile de conclure sur l'efficacité des techniques, malgré les 345 études analysées. En effet, ces études [2, 3] incluent des suivis et des opérations de restauration très hétérogènes de par leur conception (choix des protocoles, du plan d'échantillonnage...) et/ou reposent sur des analyses réalisées sur les données de suivi mais ne prenant pas en compte l'opération de restauration en elle-même (dimensionnement, techniques, déroulement des travaux...) ou le contexte dans lequel cette opération est réalisée [5]. La déconnexion existante entre les travaux de restauration et les suivis, et l'absence d'homogénéité entre les projets de restauration (hétérogénéité qui concerne autant le mode opératoire des travaux que celui des suivis) rendent l'évaluation des techniques de restauration particulièrement difficile. D'un point de vue opérationnel, les suivis étant réalisés par les maîtres d'ouvrage ou ponctuellement par des scientifiques, les moyens alloués sont limités, ce qui impacte fortement l'exhaustivité du suivi et sa poursuite dans le temps.

Par exemple, *Lorenz et al.* [5], pour étudier les évolutions des communautés au cours du temps, ont réalisé un suivi la même année sur des opérations plus ou moins anciennes. Si, par cette méthodologie, une évolution au cours du temps n'a pu être démontrée, la

¹ Voir le glossaire en fin de guide.

² Voir le glossaire en fin de guide.

nécessité de réaliser des suivis à long terme est cependant affirmée dans les travaux de Kail [3] et de Roni [2]. Lorenz rejoint Kail et Roni lorsqu'ils soulignent la nécessaire prise en compte des facteurs explicatifs autres que l'hydromorphologie (qualité de l'eau, pressions sur le bassin versant).

Par conséquent, pour pouvoir être en mesure de prévoir quantitativement et qualitativement les effets d'une opération de restauration particulière, il est nécessaire :

- de mettre en place des suivis aussi complets que possible tout en respectant un budget réaliste ;
- de prendre en compte autant que possible l'ensemble des facteurs explicatifs.

Pour ce second point, il faut donc connaître le fonctionnement du bassin versant et les altérations qui l'affectent, mais aussi prendre en compte les modalités de réalisation des travaux, et pour cela, travailler en collaboration avec les maîtres d'ouvrage.

C'est donc dans cette optique qu'est née la démarche du suivi scientifique minimal (SSM) en 2010 [6], qui cherche à « **vérifier l'efficacité écologique des travaux effectués et en tirer des conclusions opérationnelles, à l'échelle du site restauré et de son environnement proche** » [6].

Le SSM définit :

- la localisation des suivis à réaliser ;
- la fréquence et la période des suivis ;
- les éléments de qualité physico-chimiques, hydromorphologiques et biologiques à appréhender.

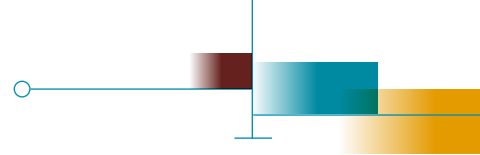
Le suivi est réalisé à deux échelles : celle du linéaire restauré d'une part, et celle de la station d'autre part (voir la partie *Échelles du suivi et éléments à suivre*). À chacune de ces deux échelles, différents éléments de qualité doivent ou peuvent être suivis.

Roni *et al.* [2] préconisent également, pour assurer la comparaison à l'échelle inter-sites, de disposer de métriques comparables entre les sites. Pour les opérations de restauration sur lesquelles est appliqué le SSM de manière rigoureuse, les données de suivi recueillies concerneront les mêmes compartiments, et les métriques qui en seront issues seront comparables. Les données relatives aux travaux et au contexte seront également recueillies car constituant des facteurs explicatifs cruciaux afin d'interpréter les données issues du suivi.

Cette standardisation des suivis permettra donc la **comparaison des évolutions inter-sites** de différents compartiments³ avant et après restauration. Les sites sur lesquels le SSM est mis en place pourront être intégrés à un réseau de sites, appelés sites de démonstration⁴. Le réseau des sites de démonstration permet la production et la mutualisation de données de suivi standardisées, permettant à terme une analyse *inter-sites* rigoureuse, rendue possible par l'homogénéité des données et leur bancarisation. Il a pour objectif de mieux connaître les évolutions de l'hydromorphologie et des biocénoses après restauration. Il permettra également d'identifier les leviers augmentant les chances de succès de la restauration (dimensionnement, mesures accompagnatrices...).

³ Voir partie *Échelles du suivi et éléments à suivre*.

⁴ Se référer au glossaire.



Domaine d'application

Ce document vise en particulier des projets ambitieux, c'est-à-dire dont les retombées attendues sur les communautés et/ou le milieu ne se limitent pas au linéaire restauré (voir les types de restauration en partie *Critères d'éligibilité au suivi scientifique minimal (SSM)* et dans le *Glossaire*), mais concernent une portion de cours d'eau plus importante pouvant aller jusqu'à l'échelle du tronçon⁵ géomorphologiquement homogène tel que délimité dans le système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE), voire au-delà.

<https://www.irstea.fr/fr/hydromorphologie-et-alterations-physiques-projet-syrah>

Les cours d'eau sur lesquels ce suivi est applicable sont les très petits à moyens cours d'eau à partir de 1 m de largeur mouillée, prospectables à pied (hors emprise d'ouvrage). Sont donc écartés, les cours d'eau de tête de bassin de moins de 1 m de large, sur lesquels les protocoles préconisés ne sont pas adaptés et/ou sont difficiles à appliquer, ainsi que les cours d'eau non prospectables à pied, sur lesquels les protocoles de suivi de l'hydromorphologie ne sont pas encore standardisés au niveau national.

Pour les mêmes raisons, il n'est pas recommandé de suivre les cours d'eau intermittents au titre du suivi scientifique minimal.

Connaissance du contexte général et facteurs limitants

Dans le cadre des projets de restauration, on s'attachera à évaluer les pressions existantes affectant le cours d'eau et son bassin versant. En effet, bien connaître et comprendre les processus physico-chimiques et biologiques qui structurent le milieu est indispensable pour identifier les causes de dégradation et déterminer quelles seront les mesures de restauration à privilégier [7].

Le guide de suivi anglais pour les opérations de restauration en cours d'eau [8] précise qu'il est nécessaire de prendre en compte les trois aspects suivants :

- la qualité de l'eau et des sédiments, qui ont une influence majeure sur les communautés, qu'il s'agisse de polluants ou de charge en matière organique et en nutriments ;
- la charge sédimentaire, qui dépend des processus d'érosion/dépôt mais aussi de l'occupation des sols du bassin versant. Elle peut avoir un impact majeur sur le succès de la restauration ;
- les variations de régime hydrologique, qui affectent également les peuplements, favorisant les espèces de milieux plus lenticues ou plus lotiques selon le sens des variations.

Ainsi, on s'attachera à définir autant que possible le contexte général du cours d'eau concerné : pressions affectant le bassin versant, occupation du sol, géologie, rejets même anciens...

Ceci permettra de mettre en évidence la présence de facteurs limitants à la reconquête du milieu par les organismes.

Si certaines pressions pourront être mises en évidence par la mise en place des suivis (hydrologie⁶, qualité de l'eau⁷), ces derniers ne se substituent pas à la connaissance du cours d'eau dans son ensemble. Ce travail d'appropriation du milieu et de ses spécificités permettra de mettre en lumière les paramètres qui pourraient limiter ou compromettre le succès des travaux de restauration, qui doivent être connus et pris en compte s'ils ne peuvent être traités.

⁵ Voir le glossaire en fin de guide.

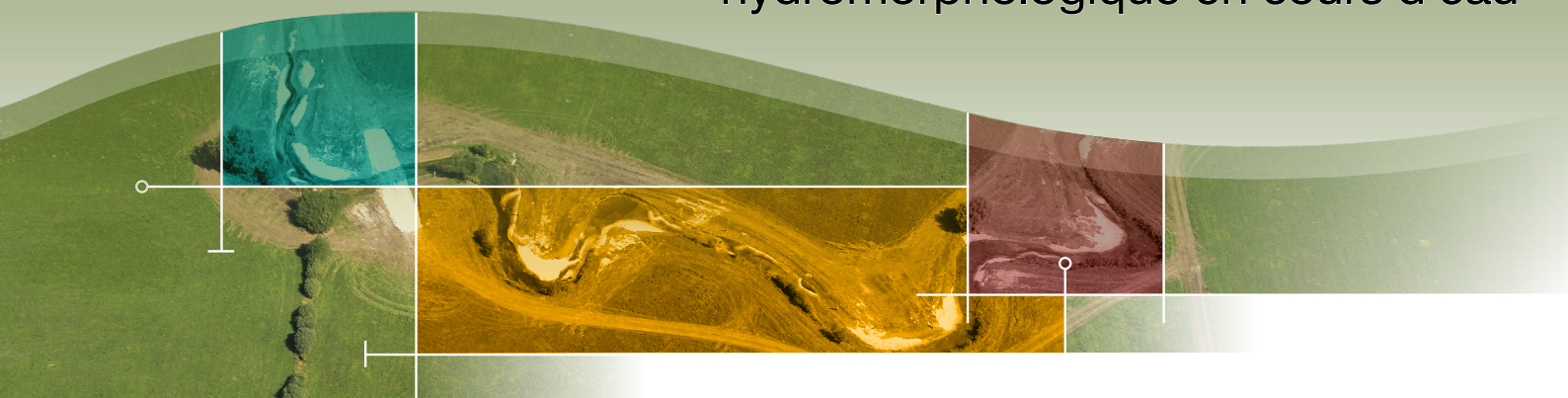
⁶ Voir la Fiche 9 Hydrologie.

⁷ Voir la Fiche 6 Physico-chimie.

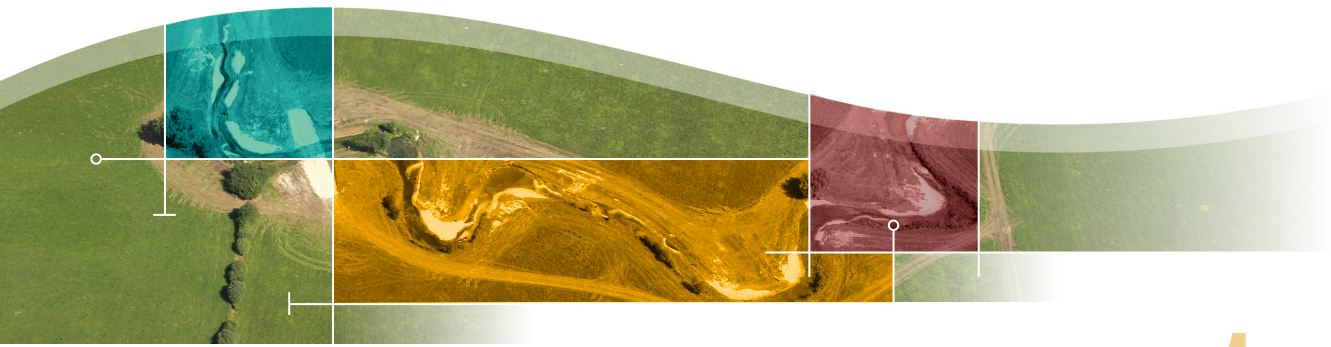
PARTIE A

Principes généraux

Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau



1 Principes généraux de construction d'un suivi	10
2 Critères d'éligibilité au suivi scientifique minimal (SSM)	13
3 Échelles du suivi et éléments à suivre	15
4 Types et positionnement des stations de mesure.....	18
5 Points de prélèvement	23
6 Chronologie des suivis	28
7 Arbre de décision pour la mise en place du suivi en cas de restauration multiple.....	31
8 Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal.....	32



1

Principes généraux de construction d'un suivi

Réflexions et principes retenus dans le cadre du suivi scientifique minimal (SSM)

Qu'est-ce qu'un suivi ?

D'après Fiers [9], un suivi repose sur une série de collectes de données et autres informations répétées dans le temps. Il a des objectifs précis et l'on a une raison spécifique pour recueillir ces données et informations. Un suivi peut par exemple être mis en œuvre pour « vérifier le niveau de conformité avec une norme ou position prédéterminée, en référence à un standard prédéterminé (comme par exemple l'état de référence) ou à un état recherché » [10-12].

Toujours d'après Fiers [9], le suivi aborde la question générale du changement ou de l'absence de changement dans le temps et dans des sites particuliers. Il est établi pour détecter des tendances présumées dans l'évolution des milieux, des espèces, des facteurs écologiques... ou pour répondre à des questions claires. C'est le cas de l'évaluation d'une opération de restauration qui se fera par rapport à des témoins choisis au début de la mise en place du suivi.

Principes retenus dans le SSM

En reprenant les différentes caractéristiques des suivis telles que définies par Fiers, nous allons expliquer les choix et principes retenus lors de l'élaboration de ce guide.

Le suivi repose sur une hypothèse et des objectifs.

Le SSM est conçu spécifiquement pour permettre de suivre les opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau, c'est-à-dire de restauration impliquant des actions sur les processus physiques contrôlant le fonctionnement des cours d'eau et des formes qui en résultent. L'hydromorphologie est considérée comme un soutien à la biologie et un des facteurs de reconquête du bon état des masses d'eau. Les altérations hydromorphologiques peuvent concerner par exemple les modifications du régime hydrologique, de la structure des berges, de la composition des habitats et des sédiments, de la pente, du transport de l'eau et des sédiments... Ces altérations peuvent avoir des conséquences sur les biocénoses aquatiques [13]. **L'hypothèse de départ est donc que la restauration hydromorphologique, en restaurant les processus physiques contrôlant le fonctionnement des cours d'eau, participe à l'atteinte du bon état et notamment du bon état écologique.**

Des travaux de synthèse récents [14, 15] tendent à conforter cette hypothèse, sans pour autant réussir à apporter des éléments qualitatifs et quantitatifs suffisamment précis pour pouvoir déterminer *a priori* la trajectoire de l'écosystème après restauration. Partant de ce constat, **l'objectif général du SSM est de réussir à mettre en évidence et mesurer les effets des opérations de restauration de l'hydromorphologie, à la fois sur les processus physiques et sur les biocénoses, et leur contribution à l'atteinte du bon état.**

Le SSM propose donc une méthode de suivi (notamment de l'hydromorphologie et de la biologie) avant et après travaux. La méthode de suivi est adaptée à différents types de restauration hydromorphologique et pourra être complétée en fonction d'objectifs plus spécifiques définis localement. Avant de choisir de mettre en place un suivi sur une opération de restauration, il conviendra de veiller à ce que les objectifs de cette opération et de son suivi soient les plus clairs et mesurables possibles [8, 15, 16].

Le suivi se base sur un recueil systématique dans le temps et dans l'espace des données et autres informations.

Les données qui sont recueillies concernent : le site de restauration, les travaux mis en œuvre et les données issues du suivi. Le guide propose un certain nombre de fiches (fiches par type d'opération, fiches protocoles, fiches terrain) pour accompagner l'utilisateur dans **sa collecte en ciblant un socle minimal d'informations et de données permettant une analyse et une interprétation scientifique des données issues du suivi.** Le guide propose également, pour chaque type d'opération de restauration hydromorphologique, **un plan d'échantillonnage détaillé** : choix des compartiments, des protocoles, des stations (station[s] restaurée[s], station[s] témoin), des points de prélèvements, de leur positionnement, de leur fréquence d'échantillonnage...⁸ La stratégie de suivi choisie dans le cadre du SSM est du type BACI [17] (*Before-After-Control-Impact*) amélioré, 3 stations (restaurée et témoin) sont suivies sur plusieurs années (avant et après restauration) [16]. Ce *design* de suivi doit permettre de quantifier les évolutions liées aux opérations de restauration en les distinguant de la variabilité interannuelle et d'autres facteurs de variabilité, notamment anthropiques (physico-chimie, occupation du bassin versant, par exemple). Par ailleurs, le guide explicite également les procédures à suivre pour assurer **traçabilité, pérennité et accessibilité aux données** de suivi par la déclaration des dispositifs de collecte et des opérations de prélèvement au sein du Sandre et la bancarisation des données dans les bases existantes (nationales, bassin)⁹.

Les raisons du choix des données de suivi et autres informations à recueillir sont explicitées.

Les données concernant le site de restauration sont essentielles :

- en amont du projet, pour réaliser le diagnostic écologique du site, choisir le type de restauration, les techniques de restauration, dimensionner correctement les travaux, élaborer le plan d'échantillonnage du suivi ;
- durant et à l'issue du suivi pour interpréter les résultats du suivi.

Les données concernant les travaux mis en œuvre permettront de réaliser un retour d'expérience sur les techniques utilisées. Elles permettent également de prendre en compte d'éventuels aléas lors de la phase travaux.

Enfin, les données issues des suivis permettront d'analyser les effets des opérations de restauration sur certains compartiments de l'écosystème.

⁸ Voir parties Échelles du suivi et éléments à suivre, Types et positionnement des stations de mesure, Chronologie des suivis.

⁹ Voir partie Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal.

Le suivi permet de vérifier le niveau de conformité avec une norme ou position prédéterminée et de détecter des tendances présumées dans l'évolution des milieux, des espèces, ou des facteurs écologiques.

Afin de contribuer à alimenter la connaissance sur les effets des opérations de restauration (qualification et quantification) et leur contribution à l'atteinte du bon état écologique, le choix des protocoles à mettre en œuvre dans le cadre du SSM s'est porté, dans la mesure du possible, sur des protocoles standardisés notamment utilisés dans le cadre des réseaux de surveillance DCE. Le recours à ces protocoles comporte plusieurs avantages : d'une part ils sont bien connus, standardisés et maîtrisés, donc répliquables, et d'autre part ils permettent de générer de la donnée standardisée à un niveau de précision suffisant pour permettre différents types d'analyses (calculs de différents indices, de leurs métriques, utilisation d'outils de diagnostic standardisés ou analyses plus spécifiques). Ils permettront également d'estimer quelle sera la contribution à l'atteinte du bon état des masses d'eau, tel que défini par la DCE.

Par ailleurs, le choix s'est porté sur plusieurs compartiments faunistiques et floristiques, car les communautés réagissent différemment et avec des intensités variables aux opérations de restauration. Ainsi, l'évolution des peuplements ne concernera pas les mêmes paramètres pour toutes les communautés (exemple chez Kail [3] qui montre que l'abondance évolue dans tous les cas mais pas la diversité). Par ailleurs, l'intensité de la réaction permettra de visualiser une évolution chez certaines communautés, tandis que chez d'autres ce ne sera pas décelable. Les communautés suivies sont celles qui correspondent aux indicateurs DCE, avec une plus grande attention sur les macroinvertébrés et les poissons car ce sont ceux qui sont les plus suivis [18]. Cependant, des résultats positifs sur les communautés de macrophytes [3, 18] encouragent à mettre en place des suivis sur ceux-ci.

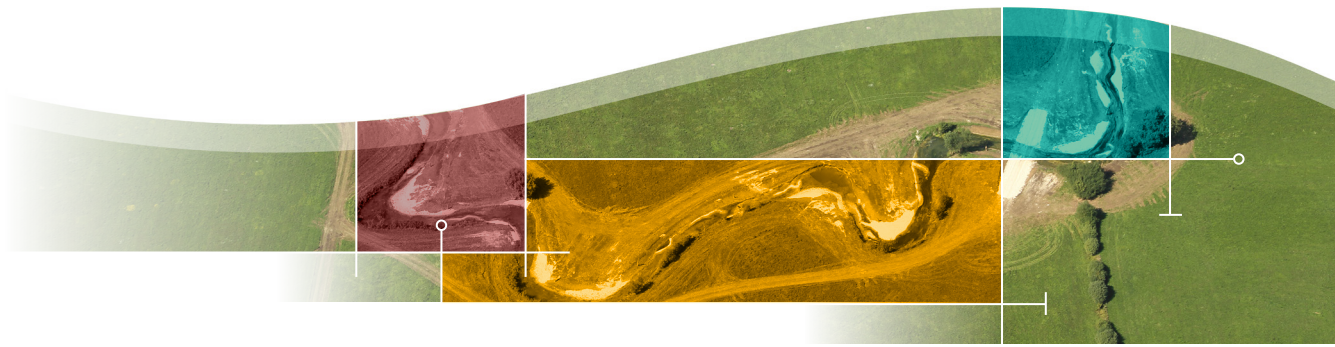
Les résultats du suivi permettent de définir des actions de gestion.

Le SSM peut être considéré comme une démarche de « management adaptatif » :

- à court terme, les résultats du suivi peuvent mettre en lumière des effets non prévus des travaux sur le milieu (problème de conception des travaux, problème en phase chantier...) et permettre d'apporter des ajustements aux travaux initialement réalisés ;
- à moyen et long terme, le suivi apportera des éléments de connaissance sur la réussite de l'opération de restauration et sur l'efficacité des techniques utilisées.

Le suivi a une durée variable, à plus ou moins long terme, et une fin planifiée.

L'analyse de la littérature scientifique nous indique un déficit de suivis de moyen ou long terme. Or, le temps de réponse d'un écosystème et sa trajectoire de retour à l'équilibre après une opération de restauration semblent être plus ou moins rapides, jusqu'à plus de 10 ans après les travaux, voire 30-40 ans pour la ripisylve [4]. Certains auteurs ont par ailleurs mis en évidence que « l'âge du projet » (c'est-à-dire le nombre d'années passées après la restauration) était un facteur explicatif déterminant des effets d'une opération de restauration donnée [3]. Selon le type de travaux, le contexte hydrologique, l'occupation du sol, les compartiments de l'écosystème peuvent également réagir à des vitesses différentes aux opérations de restauration (selon les capacités de dispersion des espèces [5] par exemple). Il apparaît donc important de mettre en place un suivi sur un pas de temps suffisant pour pouvoir étudier la trajectoire des différents compartiments de l'écosystème, au moins une campagne de mesure avant les travaux et pendant au moins 7 ans après l'achèvement des travaux.



2

Critères d'éligibilité au suivi scientifique minimal (SSM)

Les projets de restauration hydromorphologique pouvant être suivis au titre du SSM sont de sept types :

- reméandrage ;
- suppression d'ouvrage en travers ;
- contournement de plan d'eau (hors dispositif de franchissement piscicole type passe à poissons, rustique ou non) ;
- remise dans le talweg ;
- reconstitution du matelas alluvial ;
- suppression des contraintes latérales ;
- modification de la géométrie du lit sans modification de l'emprise foncière.

Pour la description de ces types de restauration, voir le glossaire.

⚠ La mise en place du SSM est sujette à certaines contraintes. Sa mise en œuvre ne sera pas toujours indiquée, au risque d'avoir des résultats peu exploitables au vu de l'investissement demandé :

- si le site concerné fait l'objet d'opérations multiples (par exemple, effacement d'une ligne d'ouvrages impossibles à suivre séparément et décalés dans le temps) ;
- si d'autres travaux ou si des facteurs trop limitants ne permettront pas de quantifier les effets de l'opération de restauration ;
- s'il n'est pas possible de positionner des stations de suivi de manière satisfaisante (voir notamment Types et positionnement des stations de mesure, et les fiches par type d'opération) ;
- ou enfin si les moyens alloués sont insuffisants.

La diversification des habitats du lit mineur (pose d'épis, faux embâcles, blocs...), souvent mise en place dans le cadre de problématiques liées à la faune piscicole, **ne rentre donc pas dans le cadre du SSM.** De plus, les projets de restauration hydromorphologique doivent être suffisamment ambitieux pour espérer un effet sensible sur les communautés et/ou le milieu au-delà du linéaire restauré. Aussi, le suivi proposé dans ce guide est adapté aux projets présentant les caractères suivants [6] :

- pour une restauration de linéaire : travaux concernant au minimum 50 fois la largeur naturelle du cours d'eau à pleins bords (Figure 2) ;
- pour les effacements - ou contournements - de seuils, de barrages ou de plans d'eau :
 - minimum de hauteur de chute effacée en cas d'ouvrage sans plan d'eau amont (ouvrage comblé par des sédiments en zone de montagne par exemple) : 2 m,
 - sinon, minimum de linéaire regagné dans l'emprise de l'ouvrage : 50 fois la largeur du lit mineur à pleins bords (largeur naturelle et non largeur dans l'emprise de la retenue, Figure 2).

À ces préconisations s'ajoute une limite pour les petits cours d'eau : si la largeur à pleins bords (Lpb) est inférieure à 6 m, le linéaire restauré ou regagné doit être au minimum de 300 m.

Des opérations de moins grande ampleur pourront faire l'objet d'un suivi au titre du SSM, selon le contexte et les objectifs. Il sera néanmoins gardé à l'esprit que pour engendrer un effet notable, durable et s'exprimant à une échelle spatiale étendue sur le milieu physique et les communautés biologiques, il est nécessaire que l'opération soit ambitieuse.



© Michel Bramard - AFB

Figure 1. Restauration incluant deux types d'opération : reméandrage et reconstitution du matelas alluvial. Le Taillon à St Ciers du Taillon (17).

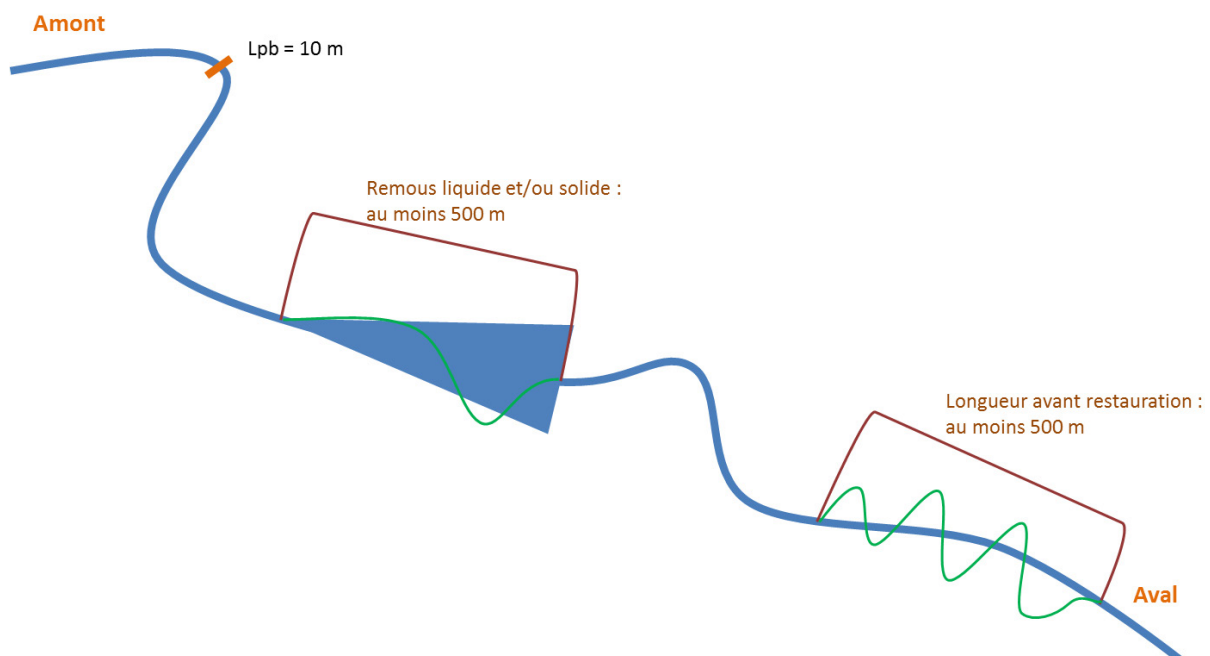


Figure 2. Exemple pour la définition des critères d'éligibilité : emprise minimale de la restauration sur le linéaire du cours d'eau pour un cours d'eau de largeur pleins bords (Lpb) de 10 m. Dans ce cas, l'emprise devra être d'au moins 50×10 soit 500 m de longueur. En bleu le cours d'eau (et le plan d'eau) avant restauration, en vert le tracé du cours d'eau après restauration.

3

Échelles du suivi et éléments à suivre

Le SSM s'appuie sur un suivi à **deux échelles spatiales distinctes** : l'échelle du **linéaire restauré** et l'échelle de la **station**¹⁰. À l'échelle de la station, vont être suivis des éléments biologiques, physico-chimiques et hydromorphologiques au niveau de **points de prélèvements**. La définition de la station et de ses points de prélèvements est **déterminante** pour s'assurer d'un suivi rigoureux au titre du SSM. Il est donc essentiel de maîtriser le sens de ces deux termes (station et point de prélèvement, se reporter au glossaire).

À l'échelle de la station

Les suivis réalisés sur les différentes stations (voir partie *Types de stations*) concernent trois compartiments (Tableau 1). Le relevé ou l'échantillonnage de ces trois compartiments doit être réalisé sur des points de prélèvement positionnés comme indiqué en partie *Points de prélèvement*. La fréquence des suivis est décrite dans la partie *Chronologie des suivis* et dans les fiches par type d'opération.

Tableau 1. *Suivis réalisés à l'échelle de la station*

Compartiment	Élément et mode de relevé	Fréquence des suivis
Hydromorphologie	Hydromorphologie selon la <i>Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]</i> et le protocole Carhyce [19]	Selon <i>Chronologie des suivis</i>
Physico-chimie	Température selon la <i>Fiche 5 [Température]</i>	En continu, depuis la pose des sondes environ un an avant les travaux et jusqu'à la fin des suivis
	Physico-chimie selon la <i>Fiche 6 [Physico-chimie]</i> : mesures <i>in situ</i> (température, pH, conductivité, oxygène dissous) et prélèvements pour les paramètres classiques (turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique). Selon les objectifs, d'autres paramètres peuvent être suivis (paramètres de l'eutrophisation, de la charge organique, ions majeurs,...) voir la <i>Fiche 6 [Physico-chimie]</i> .	Sur une base de 6 à 12 prélèvements par an, les années de suivi selon <i>Chronologie des suivis</i>
Biologie	Poissons selon la <i>Fiche 2 [Faune piscicole]</i> et guide d'application [20]*	Selon <i>Chronologie des suivis</i>
	Macro-invertébrés selon la <i>Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]</i> et le protocole de prélèvement des macro-invertébrés [21] et [22]*	
	Diatomées selon le protocole IBD [23] et la <i>Fiche 4 [Autres compartiments biologiques]</i>	
	Macrophytes selon le protocole IBMR et la <i>Fiche 4 [Autres compartiments biologiques]</i> [24]	
	Oligochètes selon les protocoles IOBS ou IOBL [25] et la <i>Fiche 4 [Autres compartiments biologiques]</i>	

On distingue les **compartiments** (hydrologique, biologique, hydromorphologique, physico-chimique) des **éléments** qui sont des sous-ensembles des compartiments.

Ainsi, dans le compartiment biologique, est inclus l'élément poissons, l'élément macro-invertébrés, l'élément macrophytes par exemple. L'élément « température » fait partie du compartiment physico-chimie.

Seul le compartiment hydromorphologique ne contient ici qu'un élément (hydromorphologie).

¹⁰ Voir le glossaire en fin de guide.

* Suivis prioritaires pour la biologie

Les éléments biologiques non prioritaires seront étudiés selon les objectifs du suivi :

- les diatomées si une amélioration de la qualité de l'eau est attendue ;
- les macrophytes qui peuvent répondre à une évolution de la trophie du milieu ou de l'hétérogénéité des habitats, et sont à encourager dans le cadre des suivis de restauration, comme indiqué dans la partie *Principes généraux de construction d'un suivi*.

Le suivi de ces derniers éléments peut également permettre de calculer un état biologique complet et d'avoir ainsi une vision assez globale des peuplements sur la station. Lorsque cela est possible, on peut également compléter par des mesures physico-chimiques spécifiques pour obtenir l'état écologique du milieu au sens de la DCE.

Les oligochètes peuvent également être suivis dans le cas de milieux fortement envasés. Ils sont notamment utilisés comme bio-indicateurs dans les canaux.

À l'échelle du linéaire restauré

L'échelle du linéaire restauré représente la totalité du linéaire faisant l'objet de travaux, auquel s'ajoute selon le cas le linéaire en aval immédiat de l'opération de restauration. Cette échelle de suivi correspond :

- dans le cadre d'un reméandrage : avant travaux, à la totalité du linéaire rectifié qui doit être reméandré, et à la totalité du linéaire recréé après travaux ;
- dans le cadre d'un effacement d'ouvrage : à l'amont, au linéaire situé dans le remous solide (si celui-ci est difficile à caractériser, considérer comme limite amont l'extrémité amont de la retenue formée par l'ouvrage) de l'ouvrage avant travaux, et au linéaire regagné dans l'emprise de l'ouvrage après travaux. À l'aval, le linéaire sera suivi jusqu'à l'aval de la fosse de dissipation et/ou au retour à la pente d'équilibre, et au minimum à une distance de 20 fois la largeur pleins bords depuis l'ouvrage ;
- dans le cadre d'un contournement : à l'amont, au linéaire situé dans le remous solide de l'ouvrage, et à l'aval de l'ouvrage jusqu'à la reconnexion projetée avant travaux. Après travaux, la distance correspond au linéaire recréé au droit de l'ouvrage. Le linéaire peut être éventuellement prolongé à l'aval si l'on s'attend à un effet sur le milieu au-delà de la reconnexion.

Sur ce linéaire restauré seront réalisés dans tous les cas avant et après travaux (Tableau 2) :

- un suivi photo (voir la *Fiche 7 [Photos]*) ;
- un relevé du profil en long et des faciès (voir la *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) ;
- un suivi de l'hydrologie (voir la *Fiche 9 [Hydrologie]*).

En fonction des types d'opérations de restauration, des objectifs et des usages éventuels (par exemple, pompage dans la nappe d'accompagnement), pourra être mis en place un suivi des connexions avec la nappe (voir la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*).

D'autres suivis peuvent être mis en place, bien que non décrits pour l'heure dans ce guide. Des suivis plus spécifiques de la ripisylve, des coléoptères terrestres, odonates, amphibiens peuvent être réalisés, notamment en cas de présence ou de recherche d'espèces et d'habitats protégés.

Lorsque le matériel est disponible, des suivis par télédétection (photographie aérienne, Lidar par exemple) peuvent également être mis en place. Ils peuvent s'avérer particulièrement intéressants pour observer des évolutions de la forme en plan et de la topographie, pendant la durée du suivi.

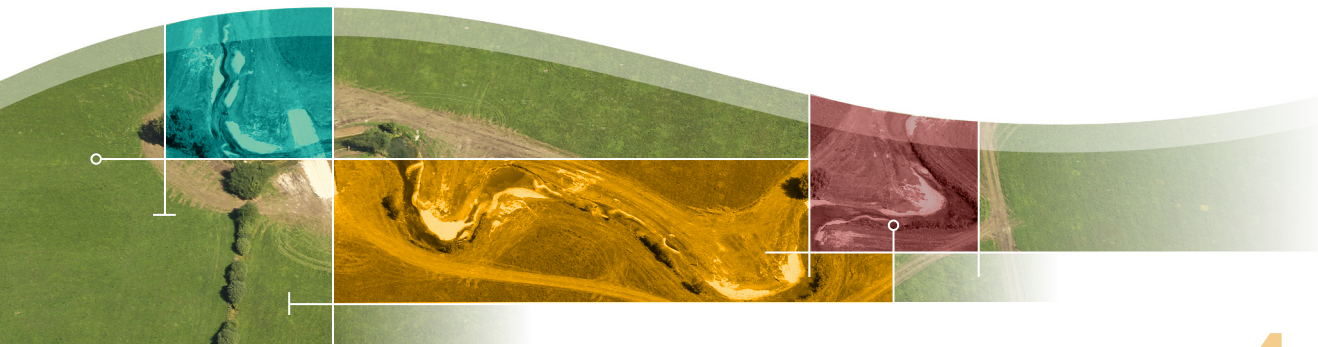
Tableau 2. Suivis réalisés à l'échelle du linéaire

Compartiment	Élément et mode de relevé	Fréquence des suivis
Le milieu dans son ensemble	Suivi photo selon la Fiche 7 [Photos]	Selon <i>Chronologie des suivis</i> , éventuellement pendant la phase travaux
Hydromorphologie	Suivi des faciès et du profil en long selon la Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]	Selon <i>Chronologie des suivis</i>
Hydrologie	Suivi de l'hydrologie selon la Fiche 9 [Hydrologie]	Selon la Fiche 9 [Hydrologie]
Eau souterraine	<u>En cas d'enjeux</u> : suivi piézométrique selon la Fiche 10 [Connexions avec la nappe]	Selon la Fiche 10 [Connexions avec la nappe]



© Michel Bramard - AFB

Figure 3. Contournement du plan d'eau de Châtenay sur la Choisille à Cérelles (37). À droite du plan d'eau le lit recréé.



Types et positionnement des stations de mesure

4

Pour caractériser les évolutions du milieu liées à l'opération de restauration de façon rigoureuse (voir *Principes généraux de construction d'un suivi*), il est donc nécessaire de choisir des stations de suivi positionnées le plus judicieusement possible et des suivis standardisés et reproductibles. Les stations doivent être positionnées de manière à :

- assurer la représentativité morphodynamique du linéaire (restauré, non altéré, altéré, voir ci-dessous) [6] ;
- assurer la représentativité biologique du linéaire (restauré, non altéré, altéré) ;
- rendre compte au mieux de l'atteinte des objectifs principaux de l'étude.

Cette partie décrit les différents types de stations et la manière générale de les positionner.

Types de stations

Quatre grands types de station sont définis au titre du SSM. Les terminologies et définitions retenues sont présentées ci-après.

La station dite Restaurée. C'est la station de suivi des évolutions liées à l'opération de restauration. Il est important de noter que tout au long du suivi, cette station est appelée « station *Restaurée* », bien qu'en début de suivi, les travaux ne soient pas encore réalisés. Selon les cas, il peut y avoir plusieurs stations de type « *Restaurée* » : par exemple dans le cas d'un effacement d'ouvrage, une station « *Restaurée amont* » et une station « *Restaurée aval* ».

L'objectif de cette (ces) station(s) est de pouvoir suivre l'évolution de l'hydromorphologie et des peuplements biologiques au niveau des travaux réalisés, ou en aval immédiat, avant et après travaux. Afin de connaître l'impact de la restauration hydromorphologique sur le milieu, il est indispensable qu'au moins une station de type *Restaurée* soit placée dans l'emprise des travaux de restauration. Dans le cas d'une retenue liée ou non à un ouvrage transversal (effacement ou contournement), un couple de deux stations *Restaurées* doit être suivi : une première *Restaurée amont* dans l'emprise de l'ouvrage ou de la retenue (avant travaux), une seconde *Restaurée aval* en aval immédiat de l'ouvrage.

Pour pouvoir suivre au mieux cette évolution, et pouvoir différencier les effets attribuables à la restauration de ceux attribuables à la variabilité interannuelle naturelle ou à d'autres perturbations affectant le tronçon, les deux types suivants sont des stations dites **Témoin**.

La station dite Témoin non altérée (TNA). Il s'agit d'une station « qui ne subit pas l'altération du site faisant l'objet de travaux de restauration et qui sera a priori peu ou pas influencée par ces travaux. » [6]. L'objectif n'est donc pas de trouver une station exempte de toute pression anthropique, mais, le cas échéant, de s'assurer que les pressions subies impactent

⚠ Ces appellations diffèrent des précédents documents du suivi scientifique minimal [6, 26].

Pour mémoire, le Tableau 3 résume les principaux éléments par type de station (ancienne et nouvelle dénomination, finalité du suivi).

également la station Restaurée à une même intensité, ou une intensité proche (exemples : altération de la qualité de l'eau, rupture de la continuité par un ouvrage en aval sur le bassin versant...), **sous peine de ne pouvoir effectuer une interprétation correcte des résultats**. Ainsi, on choisira de préférence une station positionnée sur le même tronçon et en amont du linéaire restauré.

L'objectif de la station TNA est de détecter des modifications du système, pouvant impacter les peuplements ou l'hydromorphologie, mais n'étant pas liées aux travaux. Il peut s'agir « [de modifications] de la qualité de l'eau, des fortes crues et des étiages [sévères], d'un apport massif de sédiments fins ou grossiers, d'autres flux en provenance du bassin versant, etc. » [6]. La station TNA est suivie de manière systématique. Une comparaison synchrone avec la station *Restaurée* pourra également permettre de percevoir les tendances d'amélioration, en recherchant dans les suivis réalisés sur la station *Restaurée* les valeurs des métriques qui se rapprochent de celles relevées sur la station TNA. Cette station devrait en effet correspondre à un « modèle local » de ce vers quoi pourrait tendre le site restauré.

La station dite Témoin altérée (TA). Il s'agit d'une station « *subissant le même type d'altération mais qui ne serait pas concernée par les travaux de restauration.* » [6]. Plus précisément, il s'agit d'une station impactée par le même type d'altération que la station *Restaurée* (par exemple lit rectifié, secteur présentant un déficit sédimentaire, bief perché, etc.) sur un secteur qui ne sera pas restauré. Elle ne devra pas non plus être impactée hydromorphologiquement par les travaux de restauration (exemple : station en aval de la station *Restaurée* qui subirait un colmatage lié aux travaux réalisés en amont). Ainsi, on choisira de préférence une station positionnée sur le même tronçon, idéalement en amont du linéaire restauré.

L'objectif de la station TA est de quantifier l'évolution du milieu et des peuplements sur une station subissant le même type d'altération, mais non restaurée. La station TA est suivie de manière systématique (sauf retenues, voir fiches correspondantes). En effet, suivre la station *Témoin altérée* de manière synchrone permet de suivre l'évolution des stations en parallèle et dans les mêmes conditions climatiques et hydrologiques. Ainsi, l'étude comparative des valeurs des métriques entre la station *Restaurée* et la station TA pourra permettre de percevoir les tendances d'évolution.

Un quatrième type de station est défini ici, il s'agit de la **station dite Échelle étendue**. Il s'agit de stations positionnées à plus large échelle sur le bassin versant. Sur cette station, le suivi est laissé plus libre avec la possibilité de ne suivre qu'un ou deux compartiments (hydromorphologie et/ou poissons par exemple), en fonction notamment des objectifs de la restauration (migration piscicole, continuité sédimentaire, etc.). Il est également possible d'y réaliser des suivis spécifiques « migrants » pour les poissons, notamment suite à des effacements d'ouvrage (voir *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

L'objectif de ce dernier type de station *Échelle étendue* est donc de mesurer les évolutions suite aux travaux réalisés sur une échelle spatiale plus étendue, celle du bassin versant. Elle peut permettre de rechercher une évolution de la dynamique sédimentaire à l'échelle du bassin versant (dans le cas de l'effacement d'un ouvrage dit « bloquant » par exemple) ou une évolution de la recolonisation des poissons (notamment migrants) sur le bassin versant (toujours dans le même cas). Si les compartiments suivis sont laissés à l'appréciation des opérateurs, il sera néanmoins indispensable de réaliser les suivis sur le même pas de temps et selon la même chronologie que sur les autres stations.

Les stations *Échelle étendue* peuvent correspondre à des stations de mesure des réseaux de surveillance DCE (RCS, RCO...) existantes sur la masse d'eau, mais peuvent aussi être créées spécifiquement selon la problématique, en amont ou en aval, ou sur un affluent.

Tableau 3. Les types de stations, correspondances entre les anciennes dénominations issues des travaux précédents [6, 26] et les dénominations révisées, finalité

Dénomination		Finalité
Actualisée	Ancienne(s)	
Station Restaurée	Station Représentative [6, 26]	Mesurer les évolutions au niveau des travaux réalisés et/ou en aval immédiat (selon le type de travaux)
Station Témoin non altérée	Station Témoin [6] Station Référence [26]	Détecter les modifications du système non liées aux travaux. « Modèle local »
Station Témoin altérée	Station <i>Altérée</i> non restaurée [6] Station Témoin impactée [26]	Suivre l'évolution du milieu sans l'influence des travaux. Par comparatif, indicatrice des tendances d'évolution liées à la restauration sur la station <i>Restaurée</i>
Station Échelle étendue	Sites [6, 26]	Estimer les tendances à l'échelle du bassin versant

Positionnement : cadre général

La localisation des différentes stations est déterminée par type d'opération de restauration.

En effet :

- les contraintes spatiales sont différentes pour chaque type d'opération de restauration ;
- les effets attendus des différents types d'opération de restauration ne sont pas similaires.

Dans la plupart des cas, n'est détaillé ici que le positionnement des trois stations principales : *Restaurée* (*amont/aval* le cas échéant), *Témoin altérée*, *Témoin non altérée*. Le positionnement des stations *Échelle étendue* n'est proposé que dans les cas pour lesquels ces stations sont particulièrement indiquées, mais il est possible d'en suivre dans tous les cas en fonction des objectifs à l'échelle du bassin versant (par exemple, suivi de la continuité ou de la charge sédimentaire).

Positionnement : préconisations

Afin de pouvoir quantifier les effets de l'opération de restauration sur le milieu, il sera nécessaire de limiter autant que possible les éléments pouvant introduire un biais dans les comparaisons entre les différentes stations.

Or, dans certains cas, le seul positionnement des stations peut entraîner des impossibilités d'interprétation. Quelques exemples sont présentés ci-dessous.

Exemple 1. Si les stations TA et TNA sont situées sur un autre cours d'eau que la station Restaurée : le fonctionnement du cours d'eau, l'occupation du bassin versant, la qualité de l'eau sont propres à chaque cours d'eau. Partant d'un peuplement déjà spécifique à chaque cours d'eau (dépendant de nombreux facteurs biotiques et abiotiques), il peut survenir une crue, une pollution, une augmentation du taux de matières en suspension ou autre n'affectant qu'un seul des deux cours d'eau. Il ne sera donc pas possible de transposer les modifications du système (TNA), la variabilité interannuelle (TA), ni les peuplements observés sur les évolutions observées à la station Restaurée.

Exemple 2. Si un rejet impacte la qualité de l'eau de la station Restaurée mais pas la station TNA ni la station TA : les peuplements et le fonctionnement de la station Restaurée seront contraints par la qualité de l'eau de manière plus marquée que sur les autres stations, ce qui faussera l'analyse inter-station et l'estimation des gains liés à l'opération de restauration.

Exemple 3. Si la station TNA est positionnée sur un tronçon différent, présentant une pente plus importante et un débit moyen inférieur : le peuplement et le fonctionnement hydromorphologique seront nécessairement différents, avec des habitats plus lotiques, des hauteurs d'eau moins élevées, et en termes de fonctionnement une capacité à mobiliser les sédiments différente. Les modifications observées sur cette station seront difficilement transposables aux autres stations, et les peuplements de la station Restaurée ne pourront se rapprocher de ceux de la TNA (du fait des contraintes liées au milieu).

⚠ Il est donc préconisé, dans le cadre du SSM, de :

- positionner les stations *Témoin* suffisamment à l'amont des travaux pour qu'elles ne soient pas impactées par la phase travaux (notamment des matières en suspension pouvant induire un colmatage du substrat) ;
- ne pas intercaler un affluent, un rejet (de type rejet d'assainissement collectif ou non collectif, rejet d'effluent agricole ou industriel) ou un fossé de drainage dont l'impact sera considéré significatif (voir ci-après) ;
- positionner autant que faire se peut les stations sur le même tronçon¹¹ (on se basera généralement sur le découpage SYRAH-CE).

Le caractère significatif d'un rejet ou d'un affluent sera évalué au cas par cas. Dans le cas d'un affluent, si ce dernier occasionne un changement de tronçon, il sera considéré comme significatif ; sinon, ou si c'est un rejet, les éléments suivants devront être évalués :

- pour l'hydrologie, on considèrera que le flux entrant est significatif pour un débit supérieur au 1/10^e du module du cours d'eau ;
- pour le transport solide, on évaluera autant que possible le débit solide de l'affluent/du rejet ; si une forte capacité d'apport de sédiments est connue ou suspectée, il sera considéré significatif ;
- pour la physico-chimie, les substances toxiques et les pollutions organiques, un rejet sera considéré significatif s'il est susceptible d'impacter les communautés biologiques (voir seuils des Normes de Qualité Environnementale ou NQE pour les substances).

<https://substances.ineris.fr/fr/page/9>

N.B. Les stations *Échelle étendue* peuvent être placées de manière plus libre sur le bassin versant.

Positionnement : cas particuliers

S'il est impossible de positionner les stations, on suivra les préconisations ci-après, en suivant les arbres de décision disponibles par type d'opération.

Cas n° 1 Présence d'un affluent/rejet/drainage significatif entre deux stations (hydrologie, physico-chimie, substances toxiques).

Si un affluent, un rejet (de type rejet d'assainissement collectif ou non collectif, rejet d'effluent agricole ou industriel) ou un fossé de drainage est identifié entre deux stations (qu'il soit déclaré ou visible seulement sur le terrain) et qu'il est considéré significatif (voir critères détaillés précédemment), il sera nécessaire de connaître l'impact de cet affluent/ce rejet sur le cours d'eau. Pour cela, on consultera la documentation existante sur le rejet en termes de chimie (autosurveillance du gestionnaire de l'installation, dossier loi sur l'eau), et, en cas d'absence de documentation ou de documentation insuffisante, on mettra en place des mesures pour quantifier les impacts, selon ses caractéristiques potentielles : évaluation du régime hydrologique, évaluation du transport solide, mesures physico-chimiques (incluant substances selon les risques identifiés) et/ou biologiques, voire mise en place de stations de suivi sur l'affluent.

¹¹ Voir le glossaire en fin de guide.

Cas n° 2 Impossibilité de positionner la station *Témoin altérée* et/ou *Témoin non altérée* en amont du secteur des travaux.

S'il est impossible de positionner la station *Témoin altérée* ou la station *Témoin non altérée* en amont des travaux, il sera nécessaire de l'éloigner suffisamment en aval du secteur restauré afin d'être le moins impacté possible par les travaux (colmatage, dérive...), **mais en restant dans le même tronçon.**

Une attention particulière sera portée sur le positionnement en aval dans les cas d'effacement d'ouvrage, selon les prévisions de temps de transfert de la charge sédimentaire. Il faudra en effet que les possibilités d'impacter la station *Témoin* soient minimales et/ou quantifiables.

Ce cas n'est pas recommandé pour des travaux de reconstitution du matelas alluvial par exemple. En effet, la charge sédimentaire grossière introduite est susceptible de se déplacer vers l'aval, il est donc possible qu'elle influe sur l'hydromorphologie du tronçon sur une distance plus ou moins longue.

Cas n° 3 Restauration de la totalité d'un bief perché

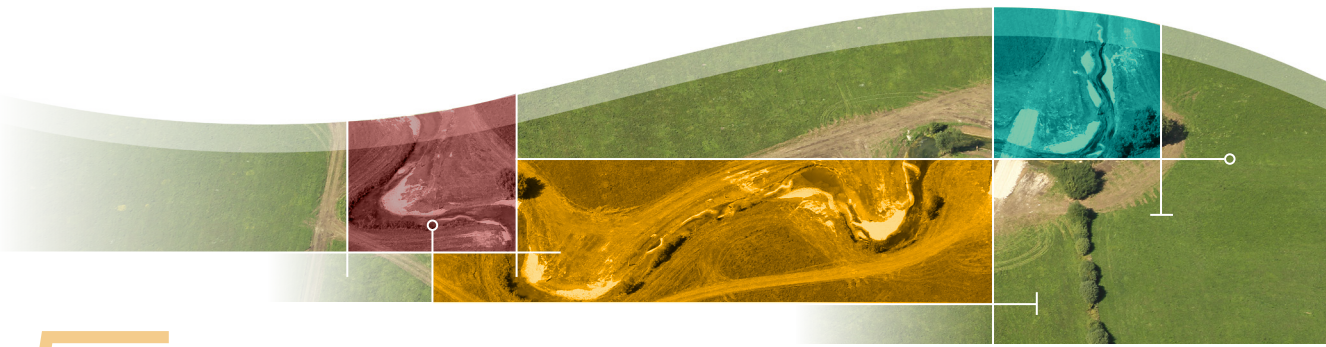
Dans le cas d'une remise dans le talweg, le bief perché peut être restauré dans sa totalité. Dans ce cas, un autre secteur de bief perché sera recherché pour la station *Témoin altérée*, en amont ou en aval des travaux, dans le même tronçon et en s'éloignant de la zone d'impact des travaux.

Cas n° 4 Impossibilité de positionner les trois stations sur le même tronçon.

S'il est impossible de positionner les trois stations sur le même tronçon de cours d'eau, il sera **nécessaire qu'au moins une des stations *Témoin* soit positionnée de la manière la plus optimale possible.** En clair, cette station sera positionnée en amont des travaux mais dans le même tronçon, sans pression supplémentaire (ou du moins, peu susceptible d'affecter les communautés) par rapport à la station *Restaurée*. Par exemple, sur un tronçon rectifié ou perché dans sa totalité, la station *Témoin altérée* sera positionnée en amont des travaux de restauration (pour exemples, voir figures « cas idéaux » par fiche type d'opération).

La station restante pourra éventuellement être placée (sur le même cours d'eau ou un cours d'eau proche) sur un tronçon le plus similaire possible d'un point de vue physique (HER de type 2, rang, etc.) et biologique (mêmes types de peuplements biologiques, par exemple zonation de Huet ou biotypologie de Verneaux), en s'assurant d'avoir un fonctionnement hydrologique et des pressions comparables (même type d'altérations hydromorphologiques, chimiques, organiques, d'occupation du sol, etc.).

À défaut de station/tronçon compatible avec les préconisations sus-citées, le suivi de la station manquante, qu'elle soit TA ou TNA, **n'est pas recommandé**, car l'interprétation des résultats ne sera pas possible.



5

Points de prélèvement

Longueur des points de prélèvement

La longueur des points de prélèvement¹² doit suivre les préconisations relatives aux différents protocoles de prélèvement standardisés, qu'ils soient physico-chimiques, biologiques ou hydromorphologiques. Elle sera donc de :

- 14 fois la largeur **pleins bords évaluée** pour le protocole Carhyce [19] ;
- de 6 à 18 fois la largeur **pleins bords** (Lpb) pour le protocole de prélèvements des macro-invertébrés, selon l'ordre de grandeur de la largeur pleins bords [22] :
 - pour une Lpb inférieure à 8m : 18 fois la Lpb,
 - pour une Lpb comprise entre 8 et 25 m : 12 fois la Lpb,
 - pour une Lpb supérieure à 25 m : 6 fois la Lpb ;
- de 10 à 20 fois la largeur **mouillée** et au moins 60 m pour les pêches [20] :
 - pour une largeur mouillée (Lm) inférieure à 3 m : 60 m,
 - pour une Lm comprise entre 3 et 30 m : 20 fois la Lm,
 - pour une Lm comprise entre 30 et 60 m : 600 m,
 - pour une Lm supérieure à 60 m : 10 fois la Lm.

Dans le cas d'une pêche dite « par point », cette longueur pourra cependant être augmentée pour respecter la distance minimale requise entre les points (4 m à pied, 10 m en bateau [20]) ;

- généralement 100 m et au moins 100 m² pour le protocole de prélèvement des macrophytes (IBMR [24]).

Les prélèvements physico-chimiques et diatomées (IBD) sont considérés ponctuels, donc sans longueur (les déplacements pour réaliser le prélèvement des diatomées sont *a priori* très limités, on les considère donc ponctuels).

Recouvrement et localisation

Chaque point de prélèvement est donc susceptible d'avoir une longueur différente selon le protocole mis en œuvre. Cependant, il est essentiel que ces points de prélèvement se recouvrent le plus possible spatialement, pour permettre une comparaison pertinente de l'évolution de chaque élément suivi. Pour optimiser au mieux ce recouvrement et standardiser les suivis, il est préconisé que tous les points de prélèvements aient **la même limite aval**. Dans le cas où cette préconisation ne s'avèrerait pas réalisable, on cherchera à respecter un recouvrement de surface d'au minimum 80 % entre les différents points de prélèvement.

Le protocole Carhyce [19] préconisant une limite aval au niveau d'un radier, cela permet de réaliser les prélèvements de diatomées (facultatifs) sur ce même radier. Pour les macro-invertébrés et les macrophytes (facultatifs), la limite aval n'est pas définie dans les protocoles [22, 24] ; elle est donc adaptable à la limite aval du prélèvement Carhyce.

¹² Voir le glossaire en fin de guide pour la définition du point de prélèvement, qui peut avoir une longueur.

Pour les échantillonnages par pêche électrique, un isolement naturel (radier généralement) sera recherché au niveau de la limite amont estimée d'après le positionnement de la limite aval du prélèvement Carhyce. Dans le cas de la présence d'un seul radier, ou d'une distance inter-radiers ne permettant pas un chevauchement de plus de 80 %, ou encore en l'absence de radier, tous les points de prélèvements seront positionnés au niveau de la limite aval du prélèvement Carhyce, et un **moyen d'isolement sera mis en place** pour les pêches en limite amont (généralement un filet) [27].

Ainsi, par station, **on positionnera les points de prélèvement en fonction du meilleur compromis possible entre pêche électrique et prélèvement Carhyce**, en recherchant un radier en limite aval pour Carhyce et la possibilité d'un isolement en limite amont pour les pêches, prioritairement naturel, à défaut par pose d'un filet en travers du cours d'eau. Lorsque les points de prélèvements seront définis pour l'un ou les protocoles, ils seront géolocalisés à l'aide d'un GPS et décrits sur le terrain le plus précisément possible (exemple : 180m en aval du pont, au niveau du chêne en rive gauche...). Ces informations seront ensuite transmises aux éventuels autres opérateurs afin d'assurer le recouvrement effectif des opérations de prélèvement. Les contraintes administratives liées au point de prélèvement pêche doivent également être gardées à l'esprit (autorisations de passage et de pêche au niveau des parcelles).

Les autres suivis se feront sur la base de la limite aval ainsi définie. Un exemple est présenté Figure 4.

La sonde de mesure de la température sera positionnée sur la station selon les préconisations de la Fiche 5 [Température]. Ses coordonnées précises seront consignées.

C'est un cas particulier : bien que le point de prélèvement soit le point dont le support¹³ est « eau », comme la physico-chimie, il ne sera pas systématiquement positionné au niveau du point de prélèvement « eau ». Ses coordonnées doivent donc être précisément notées et conservées.

¹³ Voir le glossaire en fin de guide.

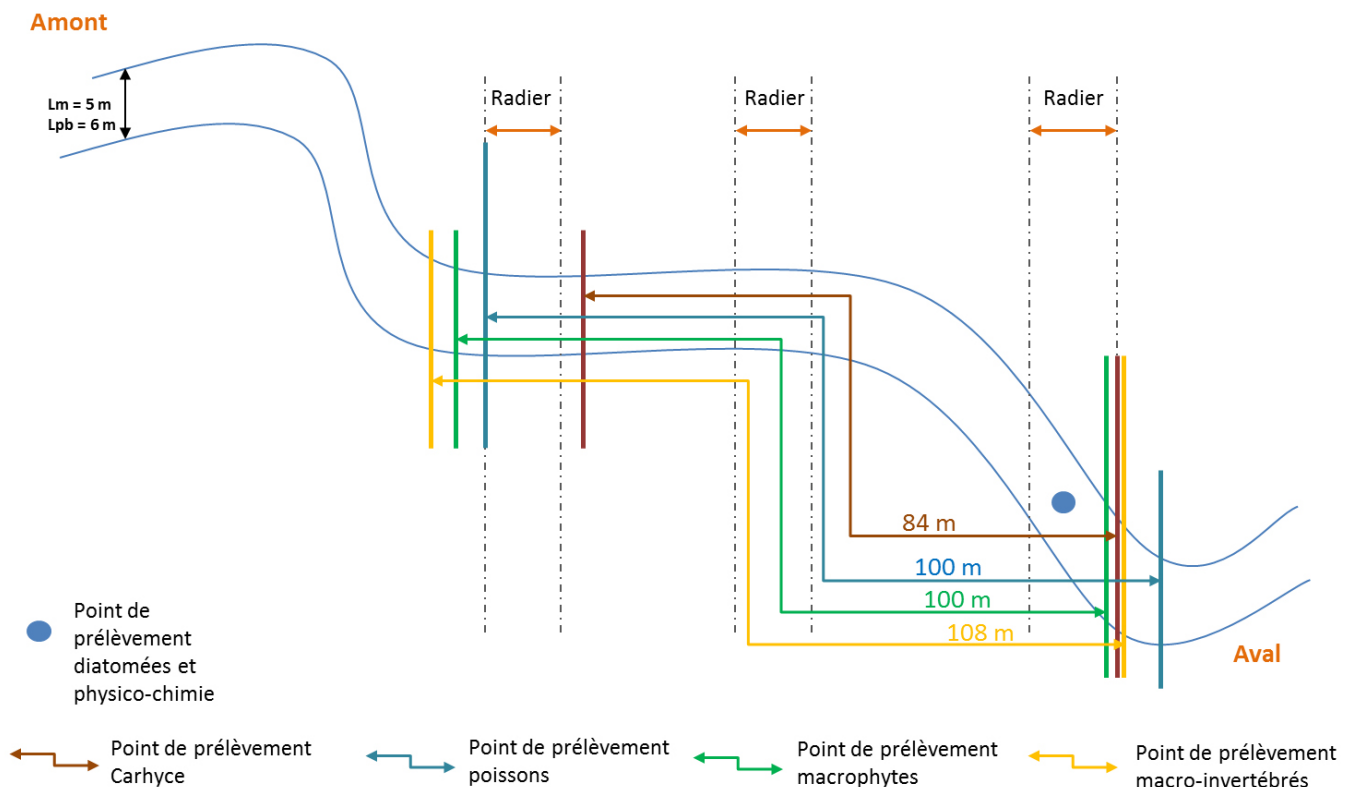


Figure 4. Positionnement des points de prélèvements pour les différents éléments de qualité (physico-chimiques, biologiques, hydromorphologiques) en fonction de la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5\text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6\text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval du point de prélèvement Carhyce, pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Cas particulier d'une station en retenue

Ce cas correspond à la station *Restaurée amont avant travaux* dans les cas n° 2 (Fiche 2 [Suppression d'ouvrage en travers]) et n° 3 (Fiche 3 [Contournement de plan d'eau]). Le positionnement des points de prélèvements se fera selon la zone prospectable à pied dans l'emprise de la retenue. Les points de prélèvements seront par défaut placés au point de transition entre la zone prospectable à pied et la zone non prospectable à pied. Cette limite constituera la limite aval pour les points de prélèvements Carhyce, invertébrés, macrophytes le cas échéant.

Si la totalité de la retenue est prospectable à pied (Figure 5), les points de prélèvements seront tous positionnés en amont immédiat de l'ouvrage.

Si plus de 50% de la retenue est prospectable à pied ou si un remous liquide doit persister après effacement, on positionnera tous les points de prélèvement au point de transition entre la zone prospectable à pied et non prospectable à pied (voir ci-dessus).

Si moins de 50% de la retenue est prospectable à pied (figure 6), alors le point de prélèvement poissons sera positionné en partie médiane de la retenue, en bateau le cas échéant. Les autres points de prélèvements restent positionnés à la transition « prospectable/non prospectable ».

Les radiers étant absents dans l'emprise d'un remous liquide, les points de prélèvements seront au maximum chevauchants, sauf pour les poissons le cas échéant (voir exemples Figure 5 et Figure 6).

Après travaux, les points de prélèvement seront positionnés en suivant le cas général (Figure 4).

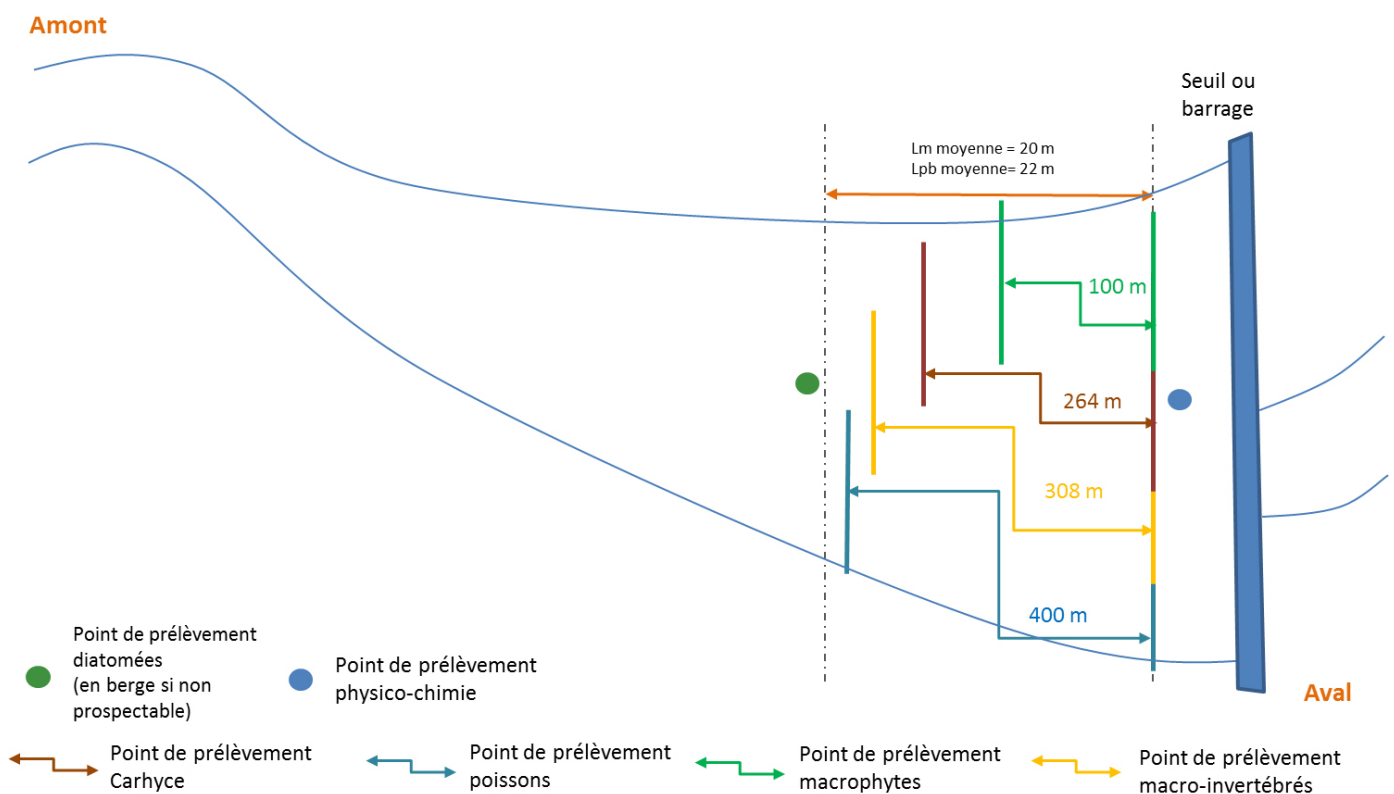


Figure 5. Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station avant travaux - Cas de la station en retenue d'ouvrage prospectable à pied, avec Lm = largeur mouillée ; Lpb = largeur pleins bords. Les points de prélèvements (autres que ponctuels) sont définis par la limite aval du point de prélèvement Carhyce.

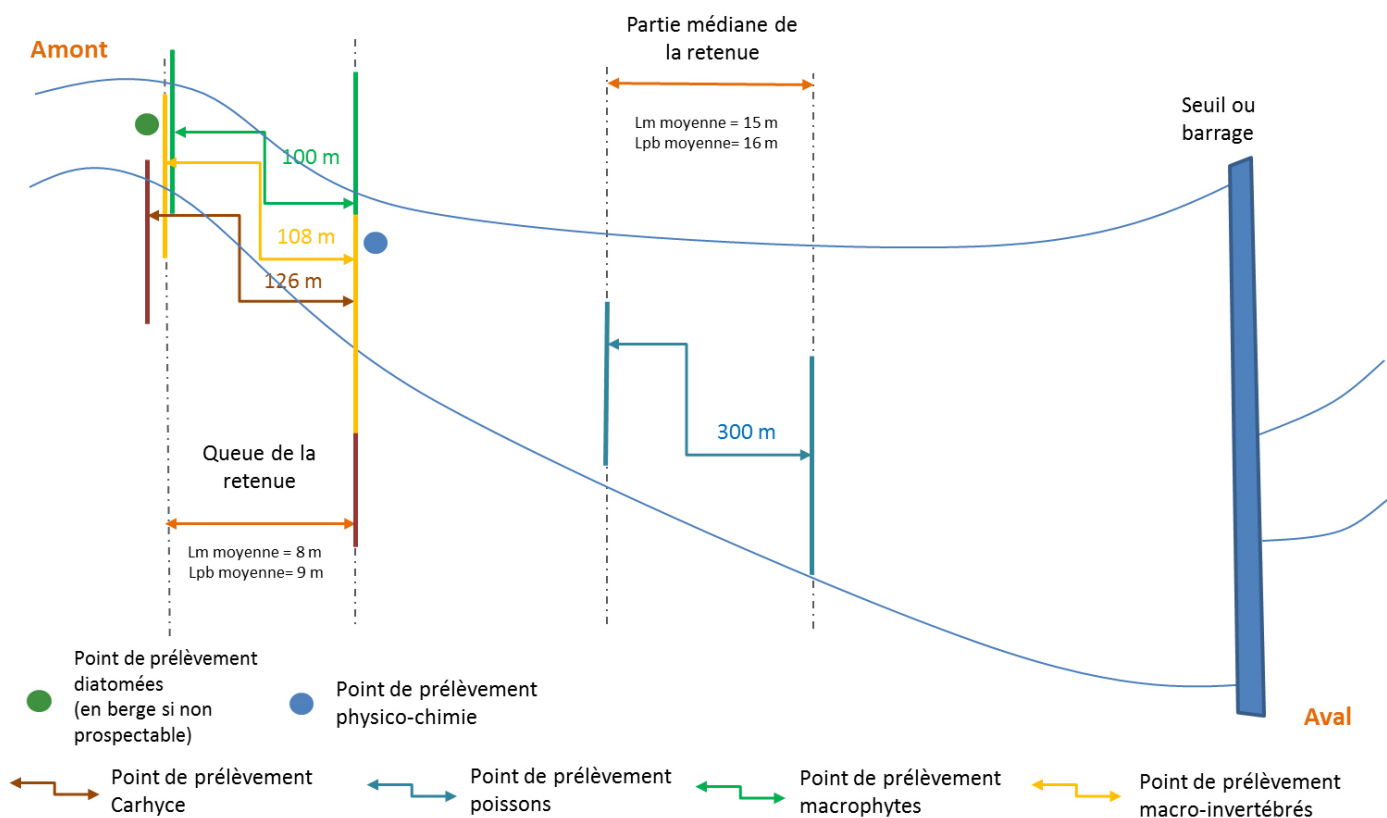


Figure 6. Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station avant travaux - Cas de la station en retenue d'ouvrage dont la majorité n'est pas prospectable à pied, avec Lm = largeur mouillée, Lpb = largeur pleins bords. Les points de prélèvements (autres que ponctuels) sont définis par la limite aval du point de prélèvement Carhyce en queue de retenue, sauf pour la pêche, réalisée en milieu de retenue.



Figure 7. Effacement d'ouvrage sur la Moselotte à Vagney (88). a) seuil avant effacement b) zone de remous avant effacement c) situation après effacement. Remarquer les conifères en rive gauche comme point de repère.

Informations terrain

Lors de la première visite de terrain, réalisée en vue de prospecter et de déterminer le positionnement des stations et des points de prélèvements sur chacune de ces stations (voir *Fiche 11 [Fiche reconnaissance terrain]*), les opérateurs veilleront à géolocaliser précisément *a minima* la limite aval Carhyce choisie (coordonnées GPS en Lambert 93) et à décrire son positionnement sur le terrain (comme indiqué plus haut, exemple : 180 m en aval du pont, au niveau du chêne en rive gauche...). Les informations sur cette limite devront être **impérativement et rapidement** fournies à l'ensemble des opérateurs de terrain afin d'assurer la bonne superposition des points de prélèvement (Tableau 4).

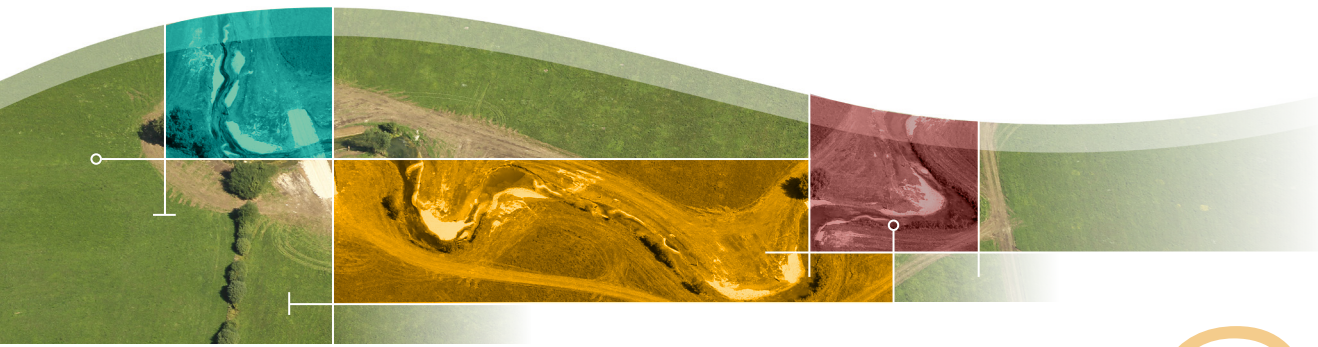
Le jour des prélèvements, les opérateurs devront consigner précisément les informations utiles (Tableau 4), dont en particulier la date et les **coordonnées GPS précises** des points de prélèvement (Lambert 93). Dans le cas des points de prélèvement ayant une limite amont et une limite aval, les coordonnées seront relevées au niveau des **deux limites** (en insistant sur le repère principal : la limite aval rive gauche pour la bancarisation).

Toute autre information jugée utile sera également consignée sur les fiches terrain, et notamment en cas d'observation d'éléments pouvant affecter les peuplements biologiques (dégradation des habitats, pollution, etc.) et/ou les prélèvements.

Les fiches terrain à utiliser sont celles préconisées par les protocoles standardisés (voir les fiches protocoles 1 à 4), lorsqu'elles existent, et dans les autres cas les exemples de fiches terrain fournies en annexes.

Tableau 4. Résumé des informations d'ordre général à relever sur le terrain

Campagne de terrain	Informations importantes
Première visite de terrain (positionnement des stations et points)	Géolocalisation précise de la limite aval Carhyce retenue en Lambert 93.
	Transmission rapide aux opérateurs de terrain.
Jour des prélèvements	Date.
	Coordonnées GPS précises des points de prélèvements effectivement prélevés (amont et aval le cas échéant).
	Éléments de contexte pouvant affecter les peuplements et/ou les prélèvements.



Chronologie des suivis

6

Organisation générale

Afin de suivre les évolutions des différents éléments du suivi (éléments des compartiments physico-chimique, biologique, hydromorphologique), une chronique de suivi est proposée. Celle-ci s'efforce d'englober : la situation avant travaux, un suivi juste après travaux et une échelle temporelle relativement longue. Comme indiqué dans l'*Introduction générale*, la chronique de suivi est construite de manière à prendre en compte l'état initial des peuplements, la durée des cycles de vie, l'évolution à moyen terme du milieu.

Dans tous les cas, un paramètre essentiel doit être considéré : **un suivi en état initial est indispensable a minima sur une année**. Ainsi, les sites de restauration pour lesquels un état initial avant travaux n'a pu être réalisé ne pourront être suivis au titre du SSM. Cet état initial est porté à 3 ans avant travaux en cas d'impossibilité de suivre l'une des stations témoin (TA ou TNA). Dans tous les cas, un suivi sur plusieurs années avant travaux, si cela est possible, permettra de rendre les données initiales plus fiables.

Le suivi est construit de la manière suivante (Figure 8) :

- deux à trois ans avant travaux : suivi des compartiments biologique et physico-chimique si possible ;
- un an avant les travaux : pose des sondes de suivi de la température sur les différentes stations ;
- l'année précédant les travaux, sans délai minimum avant les travaux : suivi de l'hydromorphologie, des éléments biologiques et de la physico-chimie obligatoires ;
- juste avant le début des travaux : relève de la sonde de température sur la station Restaurée ;
- juste après la fin des travaux : pose de la sonde de température sur la station Restaurée ;
- l'année suivant les travaux : de 9 à 15 mois après les travaux, puis une année sur deux en conservant toujours la même période de prélèvement que celle choisie pour les campagnes avant travaux pendant au moins 7 ans après travaux (soit 4 suivis par élément) : suivi de l'hydromorphologie, des éléments biologiques et de la physico-chimie indispensable ;
- pour la faune piscicole, rajouter un suivi entre n+3 et n+5 (soit à n+4) permet de suivre la dynamique du peuplement en place ;
- au moins 7 ans après la fin des travaux : relève des sondes de suivi de la température sur les différentes stations.

À l'échelle du linéaire restauré, les suivis des faciès et du profil en long, ainsi que le suivi photo, sont réalisés en parallèle des suivis de la biologie et de l'hydromorphologie à l'échelle stationnelle et aux mêmes pas de temps. Les autres suivis seront réalisés selon les préconisations des fiches protocoles.

Le suivi des différents compartiments (physico-chimiques, biologiques, hydromorphologiques) est présenté directement sur les fiches de suivi par type d'opération.

En cas de travaux sur plusieurs années, la date de début des travaux sert de date de référence pour le suivi avant travaux, et celle de fin des travaux (y compris travaux mineurs et de finition, du moment qu'ils concernent le lit mineur et/ou les berges) sert de référence pour le suivi après travaux.

⚠ Cette chronique se substitue à celle présentée dans les documents antérieurs [6, 26].

En effet, un suivi sur trois années avant travaux était préconisé de manière systématique. Or, les premiers retours d'expérience montrent que deux cas de figure peuvent se produire :

- soit le projet, lorsqu'on décide de le suivre, est déjà bien avancé administrativement et les travaux se font rapidement, sans attendre les 3 ans nécessaires ;
- soit le projet n'en est qu'à ses débuts, et peut faire l'objet de nombreux reports, d'une révision à la baisse, voire d'un abandon.

Aussi, pour s'adapter aux contraintes des opérateurs de terrain, une année de suivi avant travaux est préconisée a minima, en suivant en parallèle le tryptique de stations Restaurée, TA, TNA (ou TNA, Restaurée amont, Restaurée aval).

Exemple : pour un reméandrage prévu de juin 2015 à octobre 2017, l'état initial devra être fait avant juin 2015. Le suivi post-travaux commencera à partir de juillet 2018.

Lors de travaux de ce type, une vigilance sur d'éventuels éléments de contexte devra être maintenue, qu'elle concerne les travaux (pollutions ou modification du projet par exemple), le cours d'eau (crue majeure pendant les travaux, rénovation de station d'épuration à l'amont du site par exemple) ou le bassin versant (changement d'occupation des sols). Ces éléments devront être tracés dans le suivi.

Lorsque c'est possible et si cela présente un intérêt, un suivi pendant les travaux peut également être envisagé.

Organisation annuelle

Au cours d'une année, les suivis des différents compartiments, pour la biologie et l'hydromorphologie, devront être aussi rapprochés que possible dans le temps, pour fiabiliser l'analyse inter-compartiments. Cela diminuera également les risques de ne pas pouvoir réaliser une partie des suivis pour cause d'hydrologie défavorable (forte crue, assec).

Par ailleurs, ces suivis devront être réalisés à distance d'événements hydrologiques exceptionnels et dommageables pour le peuplement en place [22, 24], avec une hydrologie et une turbidité permettant la réalisation des prélèvements [22], de préférence proche du débit moyen mensuel minimum interannuel (Qmna) [19]. Ainsi, on préconisera au mieux un prélèvement en période d'étiage, période qui permet également de mieux détecter les altérations de la qualité de l'eau (niveaux d'eau faibles, température élevée) [23], sans toutefois être en étiage sévère, trop peu représentatif des conditions générales de la station [19]. Le débit devra être stable depuis au moins dix jours. Il est proposé que dans la mesure du possible, les échantillonnages des compartiments biologiques et les mesures de l'hydromorphologie soient réalisés **entre mi-juillet et mi-octobre d'une même année civile**.

Il est possible de prélever l'ensemble des compartiments en deux campagnes et avec un optimum d'une semaine d'intervalle entre celles-ci, **en suivant l'ordre logique suivant**, pour ne pas avoir d'impact préjudiciable entre les prélèvements.

Étape 1. Prélèvement et mesures de physico-chimie (si possible, en s'intégrant à l'une des 6 ou 12 campagnes).

Étape 2. Prélèvement des macro-invertébrés, et dans le même temps des diatomées (si programmés).

Étape 3. Prélèvement des macrophytes (si programmés).

Étape 4. Réalisation du Carhyce.

Étape 5. Seule la pêche devra être réalisée en différé, avec *a minima* une semaine de décalage, pour favoriser le retour de la faune piscicole sur les stations, suite aux perturbations engendrées par les prélèvements 1) à 4), **sans toutefois excéder deux semaines. Cette limite est préconisée afin de limiter les possibilités de survenue d'événements majeurs affectant la structure des peuplements et/ou l'hydromorphologie (naturels comme une crue ou anthropiques comme une pollution) entre les deux campagnes.**

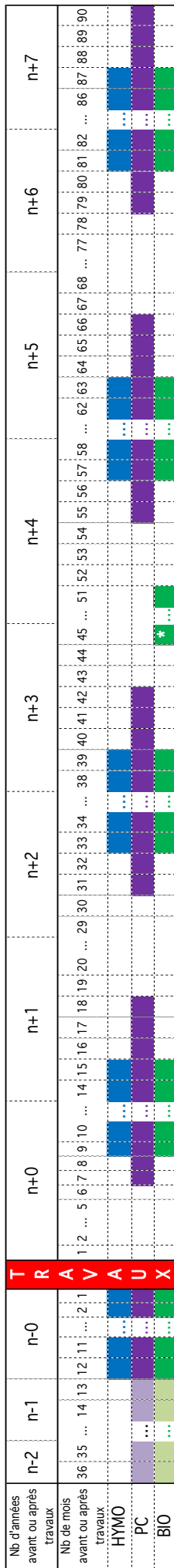
Selon les opérateurs de terrain, il sera également possible de mettre en oeuvre le protocole Carhyce le jour des pêches, à la suite de celles-ci.

Le suivi de la physico-chimie se fait sur une année, autant que possible en suivant une année civile. Les prélèvements et mesures *in situ* sont à réaliser 6 à 12 fois dans l'année. Les mesures de la température se font en continu, via la pose de sondes enregistreuses qui restent en place tout au long du suivi. Les visites de terrain pour vérification des sondes, calibration et décharge des données peuvent être réalisées conjointement aux mesures physico-chimiques.

Si le délai maximal de deux semaines n'est pas réalisable, les échantillonnages et mesures pour la biologie et l'hydromorphologie devront être réalisés le plus proche possible dans le temps. En cas d'évènement hydrologique important entre les deux campagnes, le délai du report se fera conformément aux préconisations d'application des protocoles. **La période choisie pour les prélèvements sera dans tous les cas conservée d'une année sur l'autre pour chacun des éléments biologiques et hydromorphologique.**

Un exemple fictif de suivi est présenté Figure 9. Pour un reméandrage réalisé entre le 3 octobre 2017 et le 14 juin 2018, tous les suivis programmés sont indiqués.

Organisation générale



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas.

■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.

- Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.

HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 8. Programmation actualisée du suivi scientifique minimal de l'hydromorphologie, la biologie et la physico-chimie. Le suivi avant travaux doit se faire l'année précédant les travaux et peut se faire jusqu'à la veille de début des travaux. Le premier suivi après travaux doit être réalisé entre 9 et 15 mois après les travaux puis un an sur deux, toujours à la même période (sauf pour les poissons qui incluent un suivi supplémentaire). Le suivi de la physico-chimie se fait sur une année glissante, il doit donc commencer environ 6 mois après travaux et se poursuivre pendant 12 mois. Le suivi de la température débute à la pose des sondes environ un an avant les travaux et se termine à la fin des suivis, à au moins n+7.

Organisation annuelle

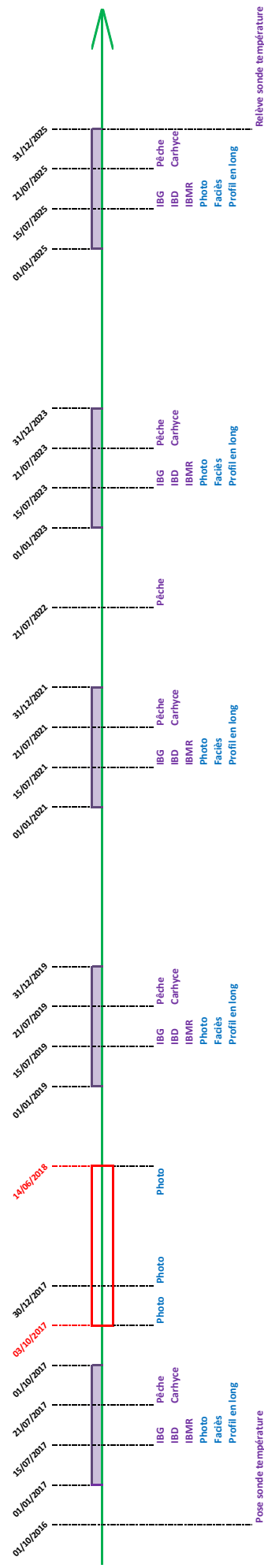


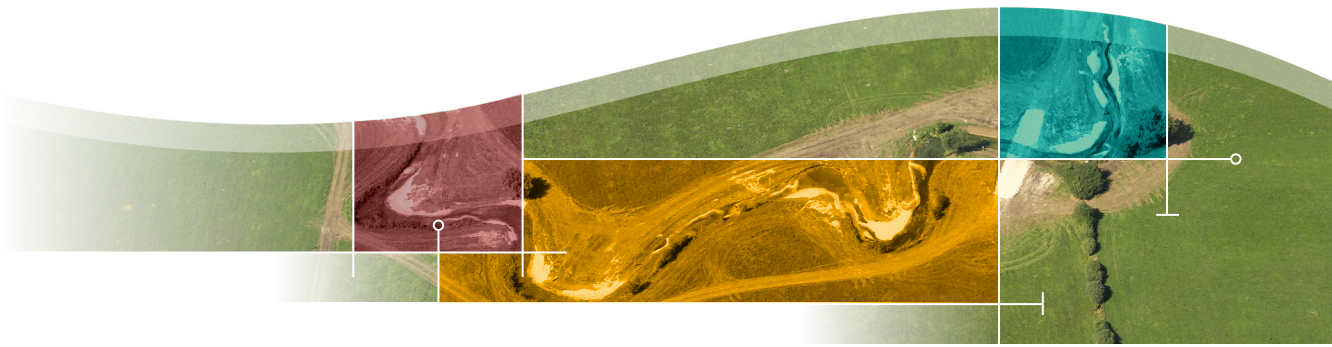
Figure 9. Exemple de suivi pour un remeändriage dont les travaux commencent le 3 octobre 2017 et se terminent le 14 juin 2018.

■ Les travaux

■ Le suivi physico-chimique

En caractères violet les suivis réalisés à l'échelle de la station et sur les 3 stations en même temps.

En caractères bleus les suivis à l'échelle du linéaire restauré.



7

Arbre de décision pour la mise en place du suivi en cas de restauration multiple

Pour choisir le mode de suivi en cas de restauration impliquant plusieurs types d'opération (par exemple, reméandrage et remise dans le talweg), il est possible :

- soit de réaliser tous les suivis que l'on préconise pour les différents types d'opérations (en général, cela nécessite une station supplémentaire, les autres étant communes) ;
- soit de suivre l'arbre de décision Figure 10. Celui-ci permettra de classer les types d'opération sur le site visé, aidant ainsi à la définition et à la mise en œuvre du suivi.

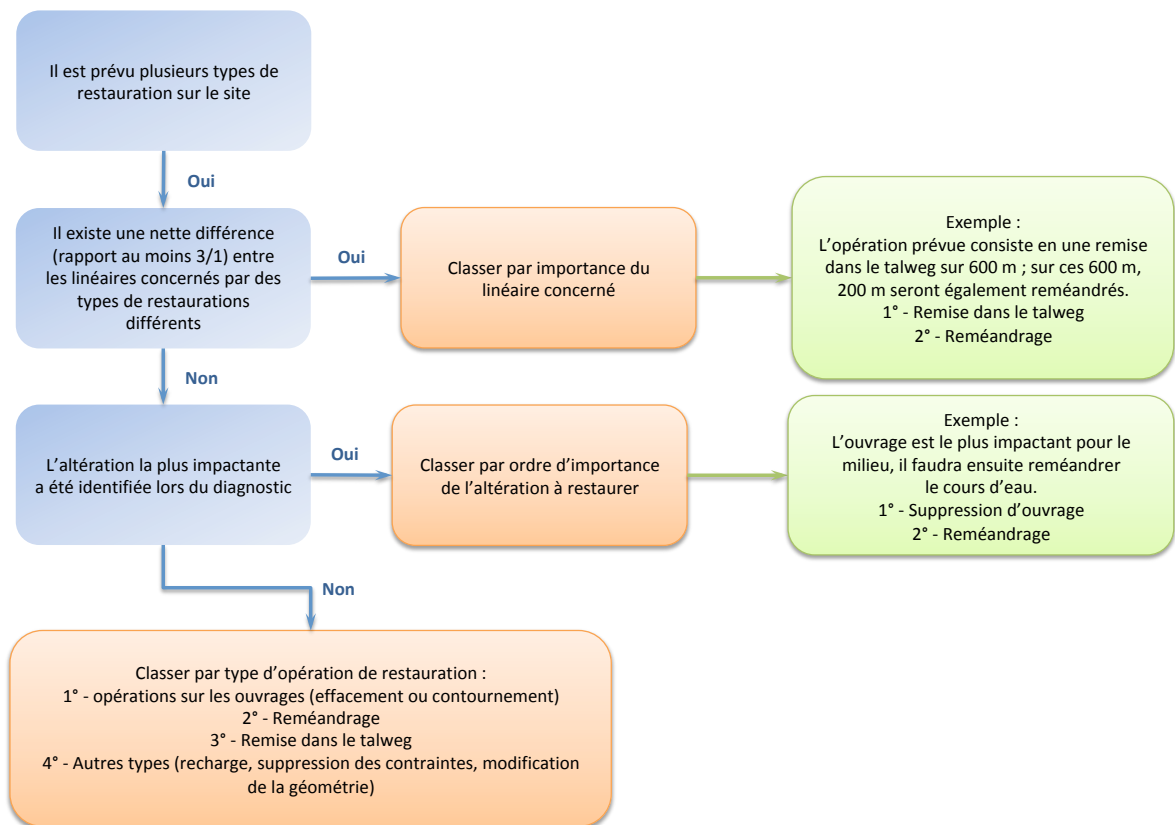
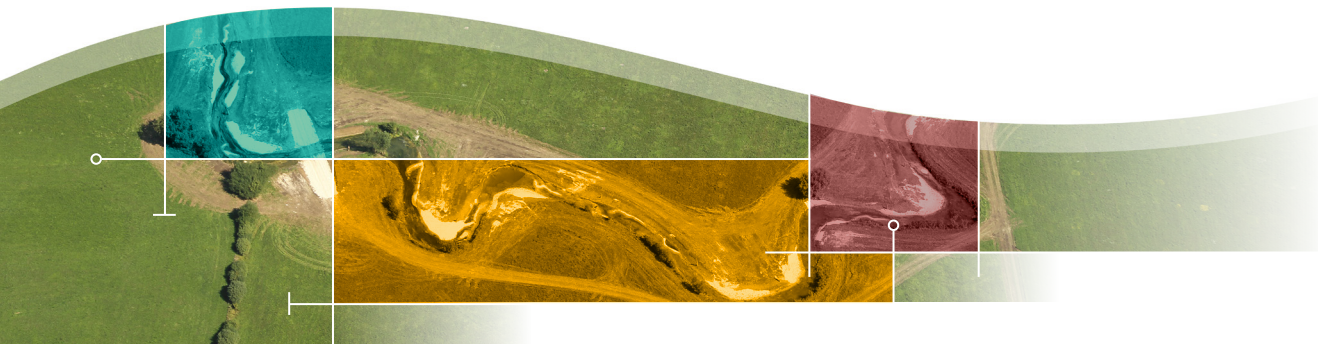
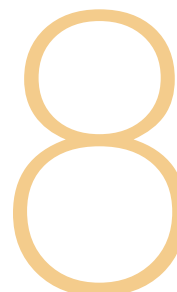


Figure 10. Arbre de décision en cas d'opération de restauration impliquant plusieurs types de restauration pour la mise en place de suivi.



Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal



Dans le cadre du SSM, il est essentiel de bancariser le maximum d'informations. Celles-ci incluent les données de suivi (voir aussi le chapitre *Principes généraux de construction d'un suivi*), mais aussi les informations concernant le site, les travaux entrepris, les éléments de contexte et problèmes rencontrés (voir la partie *BDD du SSM*).

Les principaux objectifs de la bancarisation des données de suivi sont d'assurer :

- la traçabilité des données afin de limiter la perte d'informations en cas de changement d'intervenants par exemple ;
- la pérennité des données par la bancarisation dans des banques de données (BDD) institutionnelles (nationales et par grand bassin hydrographique) afin de limiter les pertes de données informatiques ou papiers ;
- l'homogénéité des formats de saisie afin de permettre une utilisation simplifiée par la suite pour l'analyse des données ;
- l'accessibilité des données pour l'ensemble des utilisateurs potentiels (gestionnaires, scientifiques...).

Le processus de bancarisation comprend trois phases essentielles :

1. le référencement des différentes stations de suivi, points de prélèvement (voir partie *Déclaration*) au sein du système d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (Sandre). Il s'agit de l'étape de la **déclaration** ;
2. le versement des données de suivi dans les BDD institutionnelles et du SSM. Il s'agit de la phase de **bancarisation** ;
3. la récupération et/ou visualisation des données bancarisées. Il s'agit de la phase de **consultation**.

<http://www.sandre.eaufrance.fr/>

Dans le cadre du SSM, le choix a été fait d'avoir recours autant que possible aux BDD existantes, pour :

- s'assurer d'un stockage pérenne des données ;
- éviter les doubles saisies, chronophages et porteuses d'erreurs ;
- utiliser des outils existants déjà appropriés et fonctionnels.

Cependant, les BDD existantes « institutionnelles » ne permettent pas de stocker toutes les informations nécessaires au SSM. Ainsi, un outil spécifique (base de données et espace de stockage), uniquement pour les données non bancarisables par ailleurs, a été créé dans le cadre du SSM (voir *BDD du SSM*).

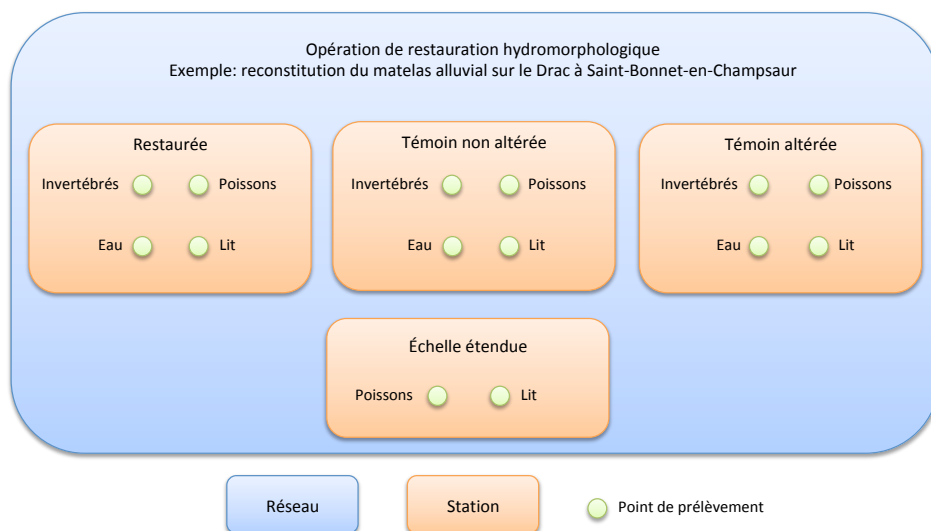


Déclaration dans le Sandre

Pour assurer une bancarisation efficace et une intégration des données de suivi dans les BDD existantes (banques nationales comme Carhyce pour le suivi de l'hydromorphologie, BDD des agences de l'eau par bassin), il est nécessaire de s'appuyer sur le site du Sandre¹⁴ et son système de codification. Cela permet également de créer pour chaque station et chaque point de prélèvement des identifiants uniques (codes) ce qui diminue les risques de double saisie ou d'erreurs, et qui est indispensable pour pouvoir saisir les données dans les banques citées ci-dessus.

Ceci constitue la phase de « déclaration » ; il s'agit en effet de déclarer aux administrateurs du Sandre ou aux interlocuteurs de bassin la création d'un nouveau réseau (Figure 11), de nouvelles stations (Figure 11), de nouveaux points de prélèvement (Figure 11) afin qu'ils soient codifiés. Après un délai de traitement, les codes sont créés puis passent en phase de validation puis de publication. C'est seulement lorsqu'ils sont publiés que la phase de déclaration est terminée et que les éléments déclarés et codifiés sont visibles sur le site du Sandre.

Ainsi, il est fortement recommandé de déclarer un code réseau, des stations, des points de prélèvement avant de commencer tout suivi, mais dans tous les cas ces déclarations devront être réalisées très rapidement dans la chronique du suivi. En cas de mise en place du SSM via un marché dédié (prestataires réalisant les suivis), cette phase de déclaration ainsi que la phase de bancarisation seront précisées dès la rédaction du cahier des clauses techniques particulières (CCTP).



¹⁴ « Le Sandre a pour mission, d'établir et de mettre à disposition le référentiel des données sur l'eau du SIE (système d'information sur l'eau).

Ce référentiel, composé de spécifications techniques et de listes de codes libres d'utilisation, décrit les modalités d'échange des données sur l'eau à l'échelle de la France.

D'un point de vue informatique, le Sandre garantit l'interopérabilité des systèmes d'information relatifs à l'eau. » (Définition sandre.eaufrance.fr)

Figure 11. Définition du réseau, de la station, du point de prélèvement dans le cadre du SSM. Exemple pour un suivi d'opération de reconstitution du matelas alluvial. Le réseau correspond donc à l'ensemble de l'opération de restauration ; les stations Restaurée, Témoin non altérée, Témoin altérée sont incluses dans ce réseau ; les points de prélèvement, où les éléments sont effectivement prélevés ou suivis, sont inclus dans les stations.

Étape 1. Création du code réseau

Dans le cadre du SSM, l'unité « réseau » correspond à un site sur lequel une opération de restauration est réalisée. Il est en effet indispensable qu'à un réseau ne corresponde qu'une seule opération de restauration donnée et inversement, et ce pour assurer le traçage des données et informations.

Ainsi, lorsqu'un site qui va faire l'objet d'un suivi scientifique minimal est identifié, il est nécessaire de faire une demande de code réseau.

Pour cela, on utilisera le guide DISC'EAU et ses mises à jour.

Si besoin, créer un compte sur le site du MDM (*master data management*) du Sandre.

Faire une demande de création d'une donnée d'un jeu : dispositif de collecte (Figure 12).

http://www.sandre.eaufrance.fr/sites/default/files/document-sandre/GuideDispositifsCollecte_5.pdf

<http://mdm.sandre.eaufrance.fr>

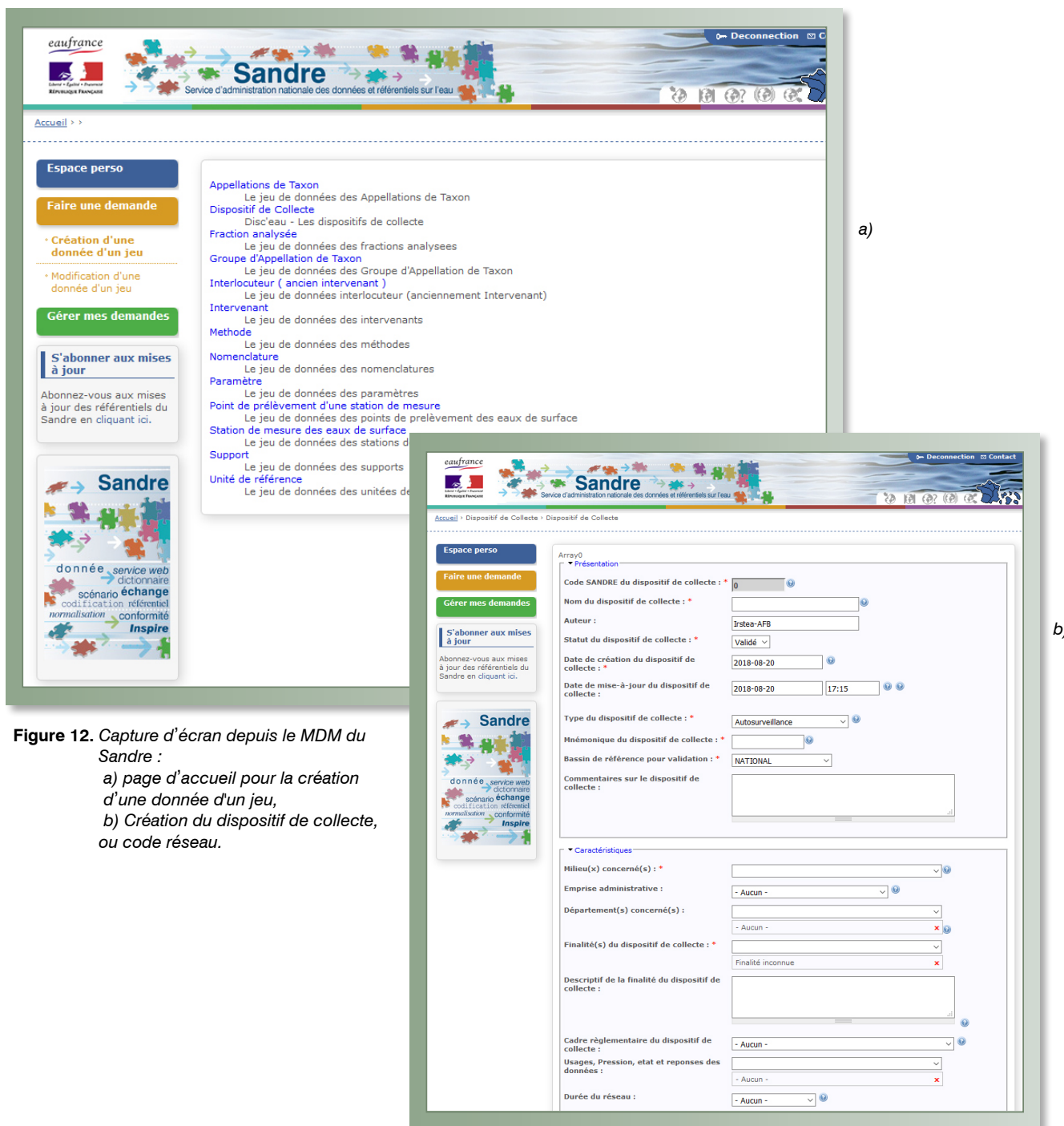


Figure 12. Capture d'écran depuis le MDM du Sandre :

- page d'accueil pour la création d'une donnée d'un jeu,
- Création du dispositif de collecte, ou code réseau.



Pour la suite de ce chapitre, chaque ligne constitue un item à renseigner sur le MDM.

Code couleur : en vert les éléments à saisir tels quels, en bleu turquoise les éléments à compléter au cas par cas pour chaque opération.

Exemple, pour l'item « commentaires sur le dispositif de collecte », qui doit être rempli ainsi : suivi scientifique minimal de l'opération de restauration hydromorphologique du/de la [nom du cours d'eau] ([type de l'opération ex : reméandrage]). Dans le cas de la Druyes, on saisira donc : « suivi scientifique minimal de l'opération de restauration hydromorphologique de la Druyes (Reméandrage) ».

<http://www.sandre.eau-france.fr/jurn.php?urn=urn:-sandre:donnees:DC:FRA:code:0300000272::referentiel:3.1.html>

Présentation

- Le code Sandre sera implémenté une fois la demande acceptée.
- Le nom du dispositif de collecte doit être basé sur « Réseau de suivi local de l'opération de restauration hydromorphologique sur le/la [cours d'eau] ».
- Auteur : par défaut, l'organisme qui a été renseigné lors de la création du compte.
- Statut du dispositif : validé.
- Date de création du dispositif : par défaut, la date du jour. Ne pas modifier, même si des prélèvements ont déjà été réalisés.
- Date de mise à jour du dispositif : idem par défaut, ne pas modifier.
- Type du dispositif de collecte : réseau de mesure.
- Mnémonique du dispositif de collecte : peut être codifié différemment selon les agences. Par défaut : RLTESUQHM [trois lettres du cours d'eau].
- Bassin de référence : le grand bassin hydrographique (Loire-Bretagne, Rhin-Meuse...).

Commentaires sur le dispositif de collecte : Suivi scientifique minimal de l'opération de restauration hydromorphologique du/de la [nom du cours d'eau] ([type de l'opération ex : reméandrage]).

Caractéristiques

- Milieux concernés : eaux superficielles continentales, rivières, canaux.
- Emprise administrative : locale.
- Département concerné : [saisir le numéro de département concerné].
- Finalité : étude.
- Descriptif de la finalité du dispositif de collecte : étude avant/après travaux.

Contexte

- Année de mise en place : saisir l'année à laquelle le suivi commence/a commencé.
- Année de fin du dispositif : saisir l'année de mise en place + 12 ans (marge en cas de reports ou délais).

Pour exemple, voir la figure 12, et un réseau ainsi créé, le site de la Druyes en lien ci-contre.

Étape 2. Création du code station

Principe dans le cadre du SSM

La station au sens du Sandre est souvent, mais pas toujours, une station de surveillance dans le cadre de la DCE. Ainsi, une station au sens du Sandre est réputée représentative d'un tronçon de cours d'eau, et les stations sont donc souvent assez éloignées les unes des autres.

Elle est donc différente de la station au sens du suivi scientifique minimal, dans lequel les stations peuvent être rapprochées dans l'espace et témoignent d'un état ponctuel sur le cours d'eau (par exemple, la station *Restaurée* reflète le peuplement et l'hydromorphologie du linéaire restauré uniquement).

Il est pourtant nécessaire de faire coïncider station au sens du Sandre et station au sens du SSM, dans un but de traçabilité des données, pour faciliter leur bancarisation et leur utilisation.

Demande de création

La station est créée par l'Agence de l'eau. Il est donc nécessaire de contacter l'Agence de l'eau dont dépend le cours d'eau suivi pour demander la création d'un code station. Il conviendra de créer une station Sandre par station au sens du SSM (autant de station Sandre que de stations suivies au titre du SSM, soit *a minima* 3 stations : TNA, TA, Restaurée – ou le cas échéant, TNA, Restaurée amont, Restaurée aval ; voir *Types et positionnement des stations de mesure*). En cas de difficulté pour obtenir autant de station que nécessaire au SSM (cas où l'agence juge qu'une station proche peut suffire pour rattacher les points de prélèvement), il sera indispensable qu'à *minima* tous les points de prélèvement (voir ci-après) correspondants du SSM soient rattachés à la même station. En effet, les banques de données sont basées sur l'entité « station » et la recherche des données se fait donc généralement par station.

Les modes opératoires diffèrent selon les agences, se référer aux **correspondants Sandre** pour connaître les modalités de déclaration.

Étape 3. Point de prélèvement

À un point de prélèvement correspond un et un seul support¹⁵.

Si la demande est faite via le mdm du Sandre (procédure conseillée, mais traité de manière différente selon les agences de l'eau), il est possible de renseigner :


- le **dispositif de collecte** (code réseau) auquel il appartient ;
- le **numéro INSEE** de la commune ;
- le **code de l'entité hydrographique** et de la **masse d'eau** ;
- le libellé du point de prélèvement : intituler « SSM – [code support] » ;
- le **code support** (voir précédemment) – ne **jamais** utiliser le code « 0 – support inconnu » ;
- la **date de mise en service du point de prélèvement**. Si le suivi est déjà en cours, intégrer la date de la première opération de prélèvement réalisée, sinon laisser la date du jour ;
- le type de projection des coordonnées : bien spécifier **RGF93 / Lambert 93** (et non WGS84) ;
- les **coordonnées X et Y principales du point de prélèvement** : voir encart ci-contre ;
- dans la case commentaire, spécifier par exemple « Station *Témoin non altérée – support lit* » pour que l'opérateur agence puisse regrouper facilement tous les points à la même station ;
- il est ensuite possible de préciser les **coordonnées de la limite amont du point** le cas échéant.

Étape 4. Rattachement et emboîtement des stations/réseaux

Lorsque les stations et points seront déclarés et publiés, leur code réseau de rattachement sera donc indiqué (voir plus haut). Pour cela, le réseau doit être préexistant dans le Sandre (c'est-à-dire déjà déclaré, validé et publié). Les points et stations seront ainsi automatiquement rattachés au réseau (et donc, à l'opération de restauration) auxquels ils appartiennent.


La date de début d'appartenance au réseau, systématiquement renseignée lors de la création du point de prélèvement, correspond à la date présumée à laquelle le suivi doit débuter. Si les suivis sont déjà en cours et que le rattachement n'avait pas été fait avant, indiquer la date à laquelle le premier suivi a été réalisé.

Si un point de prélèvement doit être absolument déplacé (modification des caractéristiques du site, problèmes d'accessibilité), alors un nouveau point de prélèvement sera créé. Pour garder la trace de l'historique (quelles opérations ont été réalisées à quel moment sur quel point), on utilisera les dates de début et de fin d'appartenance au réseau.

 Dans tous les cas, il sera nécessaire de compléter autant que possible la fiche descriptive de la station de suivi, et notamment :
- le type de station : « station de mesure de la qualité des eaux superficielles continentales » ;
- l'entité hydrographique à laquelle elle appartient ainsi que la masse d'eau.

De même, le positionnement géographique général devra être précisé (par exemple, les coordonnées géographiques du pont à proximité de la station le cas échéant).

sandre@sandre.eaufrance.fr

 Lors d'une demande de création d'un point de prélèvement, il sera indispensable de préciser le support et les coordonnées XY précises en Lambert 93 :
- des points de prélèvement pour les opérations relatives à la physico-chimie, à la thermie et aux diatomées ;
- de la limite aval rive gauche du point de prélèvement pour les autres opérations.

¹⁵ Voir le glossaire.



Les opérations de prélèvement réalisées par la suite sur chaque point de prélèvement seront identifiées par l'ensemble « code station-code point de prélèvement » dans les BDD du suivi.

Exemple. Le point 002 de la station *Restaurée*, dont le support est 69 (Lit) n'est plus pertinent pour le suivi de l'hydromorphologie car des protections de berge ont été mises en place en rive gauche en janvier 2016. Un nouveau point est créé, le point 007, toujours pour le suivi de l'hydromorphologie, sur un secteur qui convient. Le suivi du lit avant cette date a donc été réalisé au point 002, après cette date au point 007. Il conviendra donc d'indiquer, sur le point 002, une date de fin d'appartenance au réseau en janvier 2016, et sur le point 007, une date de début d'appartenance en février 2016.

Bancarisation dans les banques de données institutionnelles

BDD nationales

BDD Carhyce

La banque de données Carhyce stocke et diffuse les connaissances hydromorphologiques acquises avec le protocole de terrain éponyme.

Pour pouvoir saisir dans cette banque, les opérateurs doivent préalablement avoir été formés à la méthode (principes) Carhyce, au protocole de terrain et à la saisie dans l'application correspondante.

L'accès en simple consultation se fait sur demande à l'assistance de la banque de données.

BDD Aspe

La saisie des données poissons est réalisée sous l'application de saisie des données piscicoles et environnementales (Aspe). Cette application permet l'intégration des données récoltées selon les différents protocoles de pêche recommandés dans le suivi scientifique minimal (voir *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Afin de pouvoir saisir les données via cette application, les opérateurs devront avoir suivi une formation donnant notamment les droits d'accès à la saisie.

Comme pour Carhyce, l'application étant interfacée avec le référentiel des points de prélèvement du Sandre, les opérateurs devront déclarer les points préalablement auprès des agences de l'eau pour les voir apparaître dans l'application, sans quoi la saisie des données serait impossible.

Cette BDD remplace l'ancien outil WAMA depuis le premier semestre 2018. En phase de test, cette BDD n'est pas encore librement accessible. Pour plus d'informations et dans l'attente du déploiement d'une version finalisée, se rapprocher des correspondants AFB en région.

BDD du RNT

Les données de température issues du SSM ont vocation à être intégrées au réseau national thermie (RNT). A l'heure actuelle, les données de température seront stockées dans l'espace de stockage du SSM, au format indiqué dans le rapport ci-contre, dans l'attente de pouvoir les intégrer facilement à la BDD du RNT.

⚠ Une attention particulière sera portée à la saisie du point de prélèvement qui doit être le point du support « lit », dont les coordonnées doivent bien sûr correspondre à ce qui a été réalisé sur le terrain.

<http://carhyce.eaufrance.fr/>

<https://formation.afbiodiversite.fr/>

assistance.carhyce@afbiodiversite.fr

<https://formation.afbiodiversite.fr/>

<http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:s-cenario-d-echanges:que-sucont:FRA::ressource:1:::pdf>

BDD agences

Pour les données des suivis physico-chimique et biologique, on utilisera les bases de stockage des agences de l'eau.

Ces banques de données de bassin sont :

- OSUR pour l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (Osur web pour marche à suivre et détails) ;
- SIEMC pour l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse ;
- SIERM pour l'Agence de l'eau Rhin-Meuse ;
- SIEAG pour l'Agence de l'eau Adour-Garonne ;
- DEQUADO pour l'Agence de l'eau Seine-Normandie ;
- SIEAP pour l'Agence de l'eau Artois-Picardie.

Les modalités de saisie des données physico-chimiques et biologiques dans les bases agences sont définies par les agences ; se rapprocher des correspondants locaux pour plus d'informations.

Consultation des données institutionnelles

Les données de suivi peuvent être visualisées et/ou téléchargées dès lors qu'elles ont été bancarisées en amont, dans les BDD nationales ou de bassin (moyennant un délai de validation et de mise à disposition des données).

Pour les données brutes **Carhyce**, l'accès en consultation à la banque de données se fait sur demande par courriel à l'assistance de la BDD. Chaque suivi ou opération peut être consulté via des formulaires de saisie, en lecture seule. Le téléchargement des données se fait dans l'onglet « Ressources et téléchargements - Accéder aux données », à l'aide de différents filtres de recherche.

L'exploitation des données est disponible sur un site spécifique, le site de l'interface d'exploitation des données (IED) Carhyce (mise à jour du site deux fois par an, en janvier et juillet de chaque année).

Pour les **poissons**, l'application Aspe permet d'une part l'export des données brutes pour le traitement, mais proposera également un module d'exploitation des données permettant la plupart des exploitations courantes dans l'analyse de données piscicoles (calculs type DeLury, Carl et Strub, classes de taille, etc.).

Par ailleurs, Aspe est interfacé avec le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE) et permet ainsi le calcul automatique de l'indice poisson rivière (IPR) et de l'IPR +.

Pour les données de **température** déjà bancarisées dans le RNT, les données sont consultables en ligne via le portail **Naiades**.

Les données stockées en BDD agence sont visualisables et/ou téléchargeables aux adresses indiquées dans la marge (données brutes pour la **physico-chimie**, et uniquement données de synthèse - date, opérateur, nature du protocole mis en place, note obtenue - pour les suivis **biologiques**) :

- AELB ;
- AERMIC ;
- AEAG ;
- AESN ;
- AEAP.

http://www.eau-loire-bretagne.fr/informations_et_donnees/donnees_brutes/osur_web

Toutes ces BDD sont en open data (c'est-à-dire libres d'accès et d'utilisation), il est donc possible d'y consulter et télécharger des données acquises dans le cadre d'autres réseaux, dont ceux de la surveillance DCE (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128002b>).

Celles-ci peuvent constituer un complément particulièrement informatif aux données du suivi, lorsqu'une station de surveillance est située sur le même bassin versant ou à proximité.

Dans le cadre des données Carhyce en particulier, consulter le site d'exploitation des données, pour faciliter l'interprétation des résultats.

<http://carhyce.eaufrance.fr/>

assistance.carhyce@afbiodiversite.fr

<http://lgp.cnrs.fr/carhyce>

<http://www.naiades.eaufrance.fr/acces-donnees#/physicochimie>

<http://osur.eau-loire-bretagne.fr/exportosur/action/Geographie>

<http://sierm.eaurmc.fr/surveillance/eaux-superficielles/index.php>

<http://adour-garonne.eaufrance.fr/>

<http://qualiteau.eau-seine-normandie.fr/>

<http://www.eau-artois-picardie.fr/donnees-sur-leau/visualiser-et-télécharger-les-donnees>



Banque de données du SSM

Les informations non bancarisables par ailleurs comprennent :

- les informations relatives aux sites ;
- les fichiers d'études (diagnostic, projet de travaux) ;
- les fiches terrain et données brutes des suivis biologiques ;
- les photos.

Tous ces éléments sont centralisés dans l'outil spécifique au SSM. Les informations relatives au site sont intégrées dans une base de données dédiée (voir *étape 1. Informations relatives aux sites*), tandis que les autres éléments, appelés « documents du SSM » sont conservés dans un espace de stockage propre.

Étape 1. Informations relatives aux sites

Les informations relatives aux sites doivent être intégrées dans la BDD du SSM. Les données relatives aux sites ne pourront être bancarisées que lorsque codes réseaux, codes stations et points de prélèvement auront été déclarés sur le Sandre. L'organisation générale de la base de données est présentée Figure 13.

À l'heure actuelle, il est encore nécessaire de transmettre les données aux correspondants locaux, de bassin et nationaux en charge du SSM. La possibilité d'intégration des données par les maîtres d'ouvrage des suivis sera étudiée par la suite.

La liste des données nécessaires est indiquée en annexe (voir *Informations à fournir pour la BDD du SSM*). Elles seront transmises sous la forme d'un tableau pour les réseaux, un tableau pour les stations et un tableau pour les opérations de prélèvement.

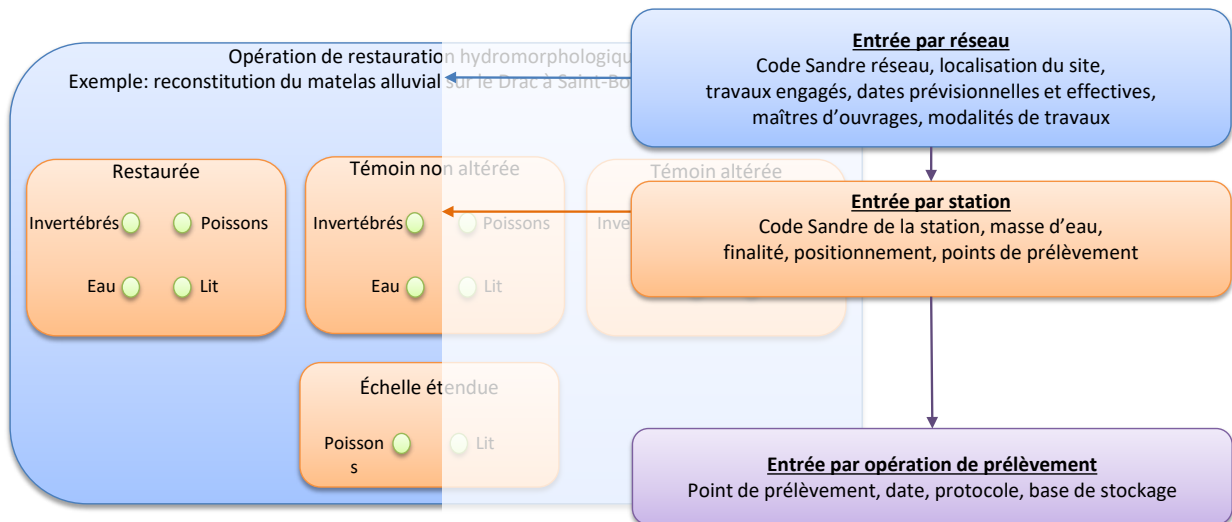


Figure 13. Organisation générale de la base de données du SSM, reprenant l'organisation de la figure 11. Trois niveaux de lecture sont différenciés : l'entrée par réseau, par station puis par opération de prélèvement. Les opérations de prélèvement sont liées à la station, les stations sont liées au réseau. À chaque réseau sont donc liées plusieurs stations (3 à minima, correspondant aux Restaurées, TNA, TA le cas échéant), et à chaque station sont reliées plusieurs opérations de prélèvement (toutes les opérations de suivi réalisées sur cette station). Des exemples d'informations, saisies ou intégrées automatiquement, sont présentés.

Étape 2. Documents du SSM

Pour le dépôt de documents du SSM dans l'espace dédié, faire une demande à l'adresse dédiée au SSM. Se référer à la charte et aux notices fournies lors de la demande pour les modalités de dépôt et de nomenclature des fichiers. Ci-contre l'adresse mail de référence pour tout envoi à destination de la base du SSM, et pour toute question relative à celle-ci.

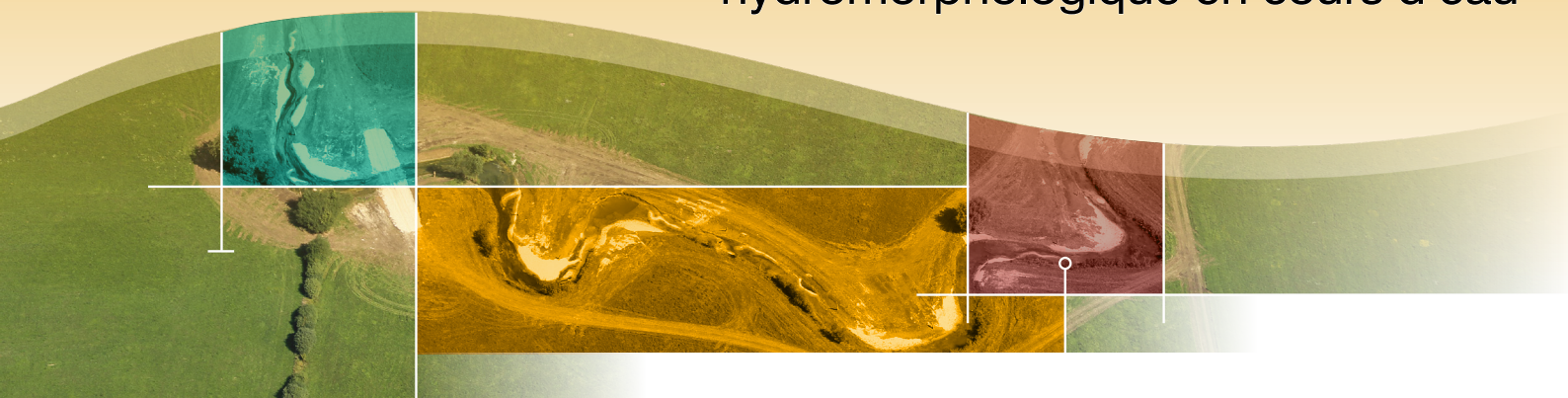
suivi.restauration@afbiodiversite.fr



Figure 14. Effacement d'ouvrage sur la Selle au Cateau-Cambrésis (59). À gauche, vue du seuil avant travaux (2009), à droite, situation deux ans après travaux (2012). Remarquer le mur d'habitation en rive gauche et le muret du seuil en rive droite, en partie conservé, en points de repère.

Fiches opérations

Guide pour l'élaboration de suivis
d'opérations de restauration
hydromorphologique en cours d'eau



Fiche 01 Reméandrage.....	43
Fiche 02 Suppression d'ouvrage en travers.....	49
Fiche 03 Contournement de plan d'eau.....	57
Fiche 04 Remise dans le talweg	65
Fiche 05 Reconstitution du matelas alluvial.....	71
Fiche 06 Suppression des contraintes latérales.....	77
Fiche 07 Modification de la géométrie du lit.....	83

« Le reméandrage consiste à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres si ceux-ci sont encore identifiables (sur carte, sur le terrain) et mobilisables (fonction des contraintes techniques et foncières) ou à créer un nouveau cours d'eau sinueux ou méandrique correspondant au type fluvial naturel, dans le respect des lois morphologiques connues (géométrie en plan, en long et en travers). » [28]

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- réactiver la dynamique fluviale par la création de zones préférentielles d'érosion et de dépôts ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- favoriser la reconnexion ou la recréation d'annexes fluviales et les échanges entre la nappe et le chenal.

Sur les communautés biologiques :

- changements de composition des peuplements biologiques liés à la diversification des habitats (diversification du peuplement, retour d'espèces lithophiles, etc.) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du secteur restauré.

Remarque

En cas d'opération de grande ampleur qui dépasserait l'échelle d'un tronçon, et qui inclurait des zones à fonctionnement hydromorphologique et biologique différents, il conviendra de multiplier les stations de suivi, tant Restaurées que Témoins. Le positionnement et le choix des stations dans ce cas devront faire l'objet de concertations entre les différents acteurs du SSM, au niveau local et national. Cependant, s'il est impossible de multiplier les stations de suivi, il est également possible de choisir de ne se focaliser que sur un tronçon homogène et de le suivre comme s'il constituait la totalité des travaux.

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer à la partie *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'un reméandrage, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée**, une station **Témoin non altérée**, une station **Témoin altérée**.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 15, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet¹⁶ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant les stations **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant les stations **Témoin** sur le même tronçon¹⁷ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 16 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'un reméandrage (Figure 15), la station **Restaurée** se positionnera sur le secteur rectifié qui doit être restauré. On veillera à positionner la station hors cas particulier, c'est à dire ni en limite amont, ni en limite aval, ni sur une particularité locale du secteur restauré (par exemple, renforcement de berge ponctuel ou faciès non représentatif du secteur reméandré).

¹⁶ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers, cas n° 1*.

¹⁷ Voir le glossaire en fin de guide.

La station **TA** se positionnera sur le secteur altéré non restauré (par exemple une section rectifiée/recalibrée qui ne fait pas l'objet d'une restauration). Elle sera en amont de l'opération de restauration (en restant sur le même tronçon), afin de ne pas être impactée par la phase de travaux ni par ses conséquences (typiquement, augmentation du colmatage lié aux travaux ou érosion progressive).

La station **TNA** se positionnera sur un secteur non altéré par la rectification/le recalibrage. Ici aussi, elle sera située en amont de l'opération de restauration, mais en restant sur le même tronçon.

Au besoin, les stations **Échelle étendue** seront positionnées selon les objectifs de la restauration (modification du transport sédimentaire, limitation de l'érosion sur d'autres secteurs, etc.).

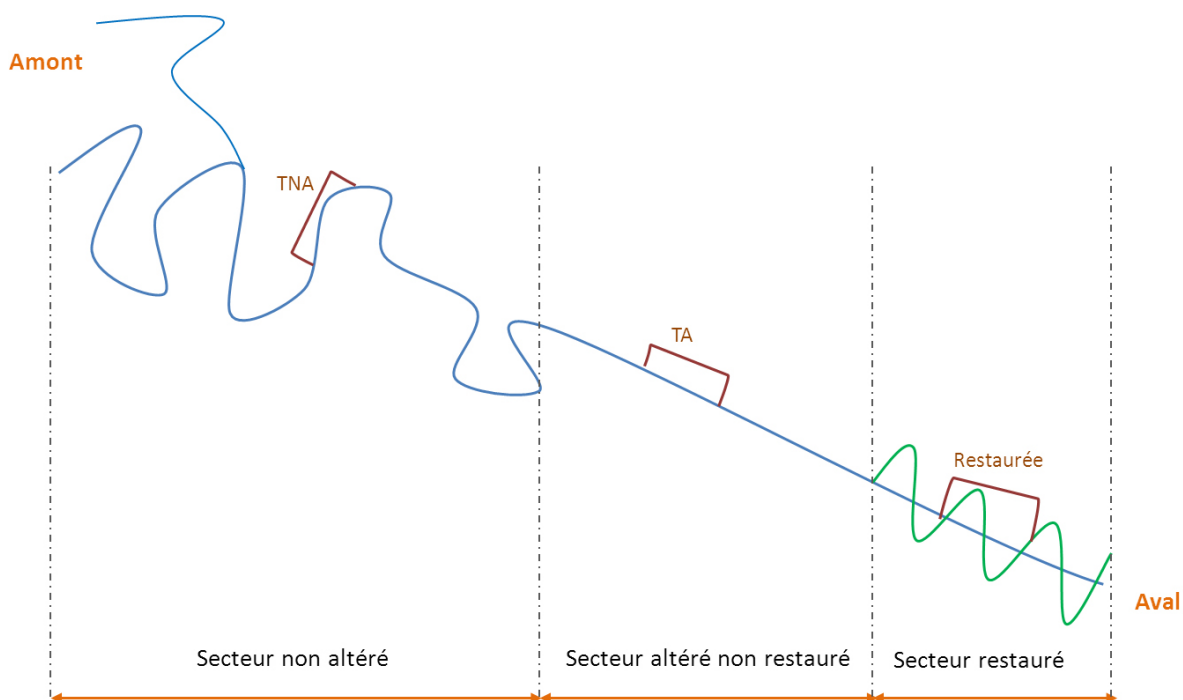


Figure 15 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TA = station Témoin altérée, TNA = station Témoin non altérée. En vert le lit recréé. Cas idéal.

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 16), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement des stations lors de suivi pré et post-travaux doit rester **strictement identique** pour les stations **TA** et **TNA** ; la station **Restaurée** se positionnera sur le secteur reméandré au droit du positionnement de la station avant travaux.

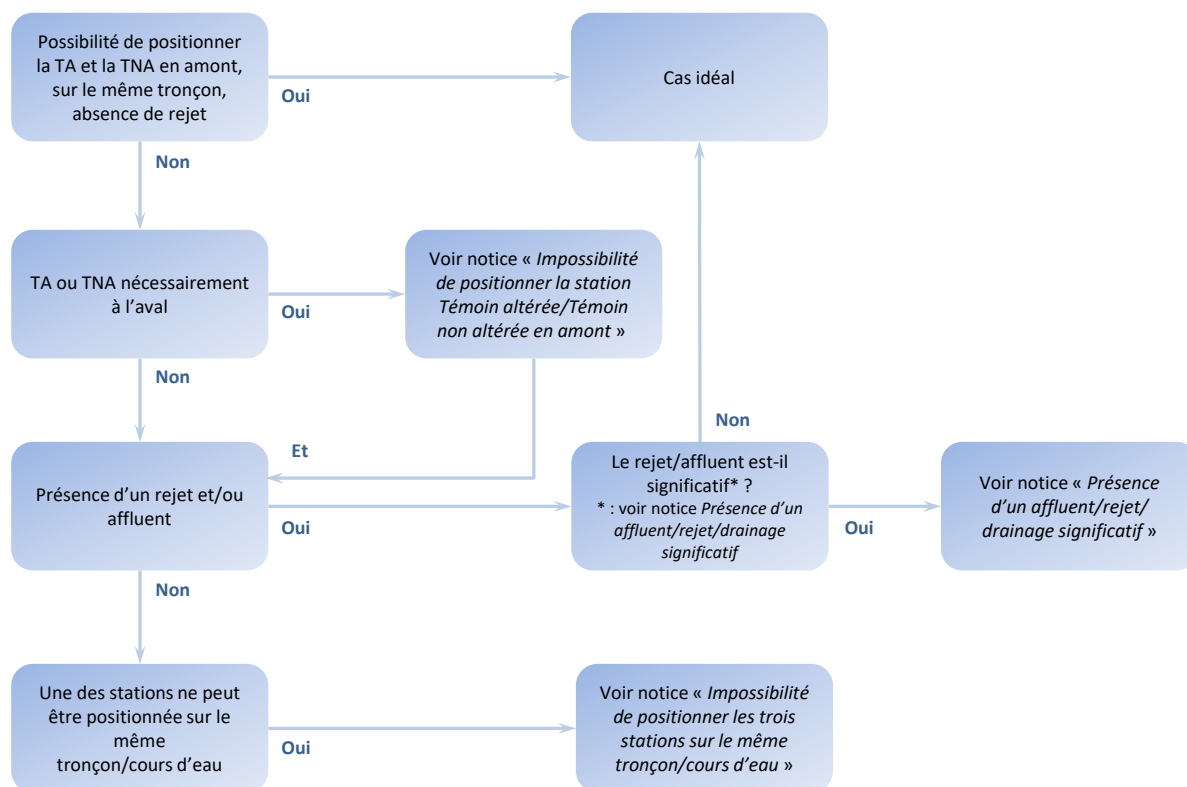


Figure 16 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas du reméandrage. Se reporter à Positionnement : préconisations et cas particuliers pour les notices et préconisations. TA : station Témoin altérée, TNA : station Témoin non altérée.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas du reméandrage, le suivi doit être identique sur toutes les stations **Témoins** et **Restaurée** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Pour les conditions de prélèvement, se référer aux parties *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Sur les stations **Échelle étendue** le cas échéant, les objectifs de l'opération de restauration détermineront les compartiments/éléments à suivre. On procèdera dans tous les cas aux relevés via des protocoles standardisés (pour le suivi des migrateurs, voir *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par le reméandrage (reprise des processus d'érosion/de dépôt, diversification des écoulements).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après reméandrage, les effets de la diversification des habitats sur les peuplements, l'évolution de l'état biologique. Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la qualité de l'eau et le fonctionnement hydrologique. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la diversification des habitats et le niveau trophique.

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]* et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire).

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*).
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures in situ** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'effet des travaux sur la température et acquérir des données d'interprétation de l'évolution des biocénoses.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

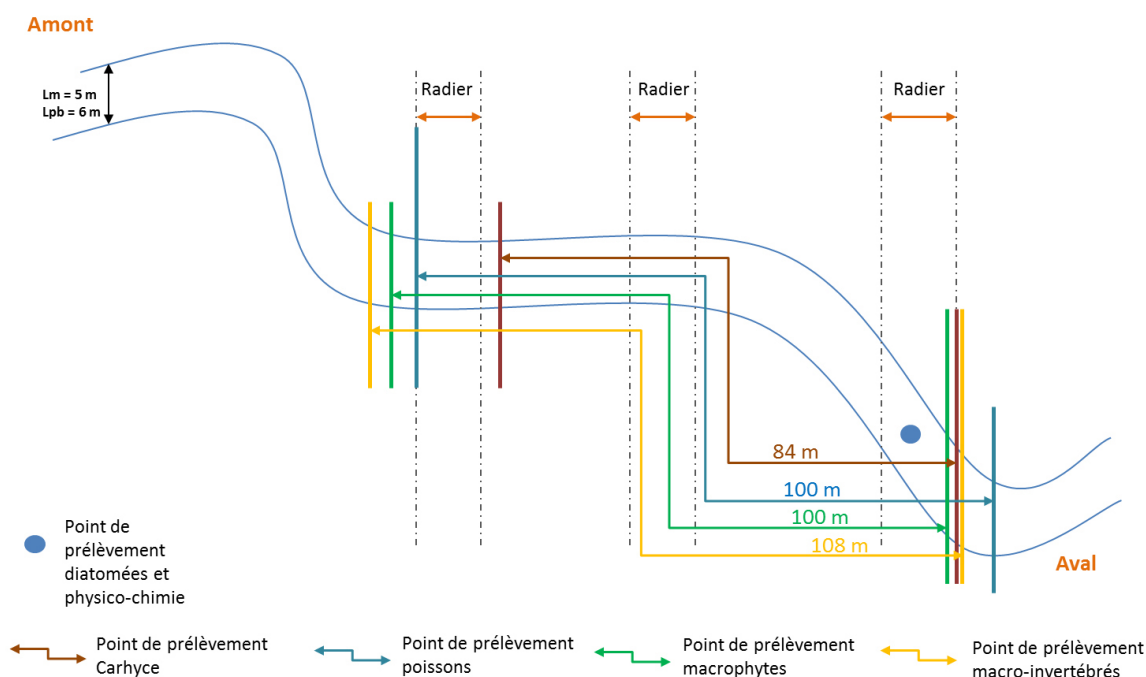


Figure 17 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5 \text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6 \text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre visuellement l'évolution du paysage avant-après travaux en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution du cours d'eau dans le contexte général du fond de la vallée.

Réalisation de photos du site, du fond de vallée et du cours d'eau (se référer à la Fiche 7 [Photos]) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par le reméandrage (diversification des écoulements, reprise des processus d'érosion/dépôt, restauration du profil en long).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux (fréquence de débordements...).

Se référer à la Fiche 9 [Hydrologie] ;

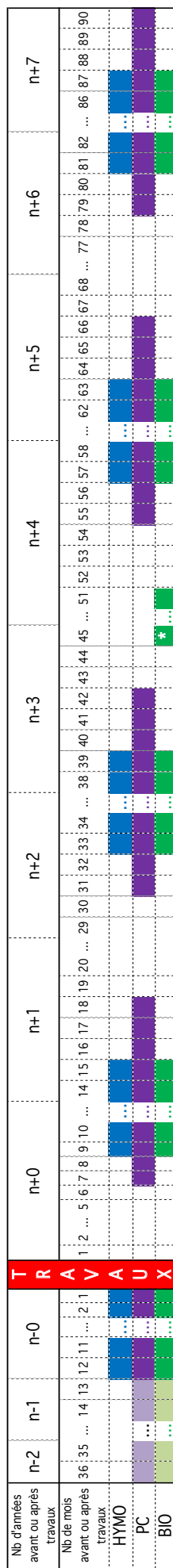
Suivi des connexions avec la nappe (si enjeu)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe, en lien avec la variation des niveaux d'eau et/ou l'amélioration des échanges nappes – cours d'eau, ou avec l'amélioration de la connexion avec les annexes.

Se référer à la Fiche 10 [Connexions avec la nappe].

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 18). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 18 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements à réaliser dans tous les cas. En foncé les prélèvements facultatifs. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

(seuil(s) ou digue(s) de plan d'eau)

« Le principe général sous-tendant la proposition d'arasement (diminution de la hauteur de l'ouvrage) ou de dérasement (suppression de l'ouvrage) d'un seuil vise à redonner au cours d'eau son profil en long naturel. » [28]

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- restaurer le profil en long et la pente d'équilibre du cours d'eau ;
- recréer une dynamique fluviale naturelle, notamment par la redynamisation du transport solide ;
- restaurer l'hydrologie ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur.

Sur les communautés biologiques :

- changements de composition des peuplements biologiques et amélioration de l'état écologique dans l'emprise de l'ouvrage et en amont/aval de celui-ci (dans l'emprise de l'ouvrage : recolonisation des espèces rhéophiles au détriment des limnophiles) ;
- recréation d'habitats favorables au cycle de vie d'espèces-cibles dans l'emprise de la retenue ou en aval de celle-ci ;
- amélioration de la qualité physico-chimique et thermique ;
- extension du front de colonisation (en particulier grands migrateurs, mais aussi espèces DHFF, espèces citées dans l'arrêté relatif au classement en liste 2 des cours d'eau, etc.) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du secteur restauré.

https://inpn.mnhn.fr/docs/natura2000/Directive_habitats_version_consolidée_2007.pdf

http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2013/02/cir_36497.pdf

Remarque

En cas d'opération de grande ampleur qui concernerait plusieurs ouvrages, et qui inclurait des zones à fonctionnement hydromorphologique et biologique différents, il conviendra de multiplier les stations de suivi, tant Restaurées que Témoins. Le positionnement et le choix des stations dans ce cas devront faire l'objet de concertations entre les différents acteurs du SSM, au niveau local et national. Cependant, s'il est impossible de multiplier les stations de suivi, il est également possible de choisir, soit de ne se focaliser que sur un ouvrage (le plus amont, le plus aval, le plus bloquant), soit de suivre les effacements multiples comme s'il ne s'agissait que d'un seul ouvrage (valable si les ouvrages sont rapprochés et les travaux réalisés dans un délai contraint).

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer à la partie *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'un effacement d'ouvrage, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée amont**, une station **Restaurée aval**, une station **Témoin non altérée**.

Ici, et seulement dans le cas des suppressions ou contournements d'ouvrage, du fait de la stabilité des peuplements en conditions de type plans d'eau et de la difficulté de trouver un autre secteur en tous points comparable, la station **Témoin altérée** n'est pas obligatoire, mais peut être mise en place selon les objectifs du suivi.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 19, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet¹⁸ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant la station **Témoin non altérée** à l'amont des travaux ;
- positionnant la station **Témoin non altérée** sur le même tronçon¹⁹ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 20 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'un effacement d'ouvrage (Figure 19), deux stations **Restaurées** doivent être mises en place (l'une dite « amont », l'autre « aval »). Le positionnement de la station **Restaurée amont** se fera dans l'emprise de l'ouvrage (emprise du remous liquide).

Le positionnement de la station **Restaurée aval** se fera en aval proche de l'ouvrage (quelques centaines de mètres au maximum), et autant que possible hors emprise d'un éventuel ouvrage localisé plus en aval. Cette dernière condition ne pourra pas toujours être remplie, mais la station **Restaurée aval** devra dans tous les cas être mise en place.

La station **TNA** se positionnera sur un secteur **en amont** de l'emprise de la retenue. Elle devra être située bien en amont de la zone d'influence (prise en compte des remous liquide et solide) afin que l'effet retenue n'affecte pas les peuplements ni l'hydromorphologie de cette station, mais en restant sur le même tronçon.

Remarque

Dans le cas de l'effacement d'un ouvrage bloquant pour la migration, l'effacement pourra influencer le peuplement piscicole de la station **TNA**, mais les espèces amenées à remonter sont *a priori* bien ciblées par le diagnostic, ce ne sera donc pas problématique pour l'analyse.

Les stations de type **Échelle étendue** seront particulièrement indiquées dans le cas d'un effacement d'ouvrage, pour suivre d'une part un éventuel front de migration des espèces piscicoles, d'autre part une évolution de la charge sédimentaire du cours d'eau. Dans le premier cas, il sera intéressant de positionner de telles stations sur les affluents en amont de l'ouvrage effacé ainsi que plus en amont sur le cours d'eau. Dans le second cas, une station en aval éloigné pourra informer sur d'éventuelles évolutions du transport sédimentaire.

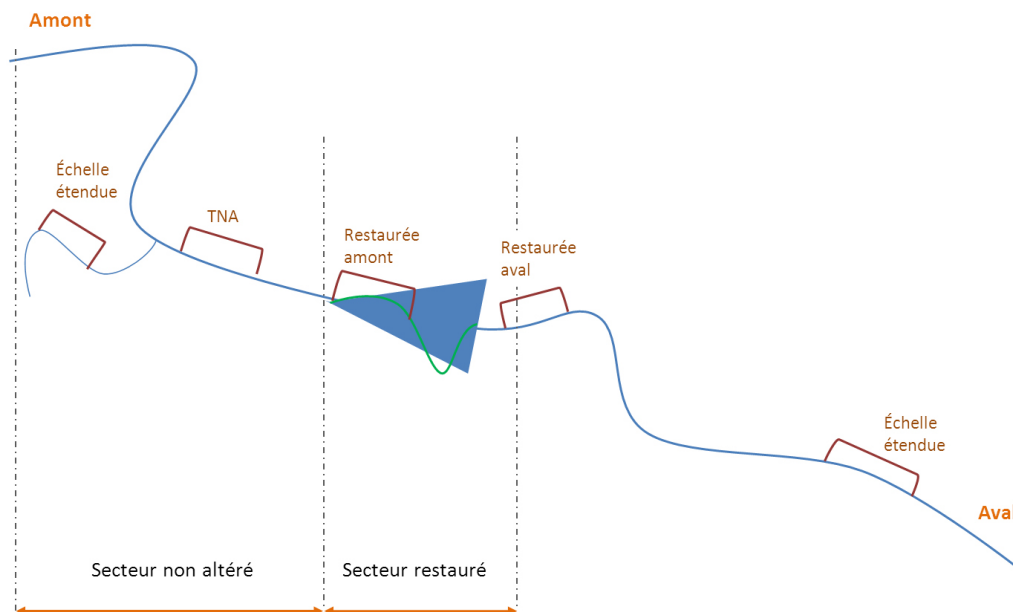


Figure 19 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TNA = station Témoin non altérée. En vert le lit recréé. Cas idéal.

¹⁸ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*, cas n°1.

¹⁹ Voir le glossaire en fin de guide.

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 20), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

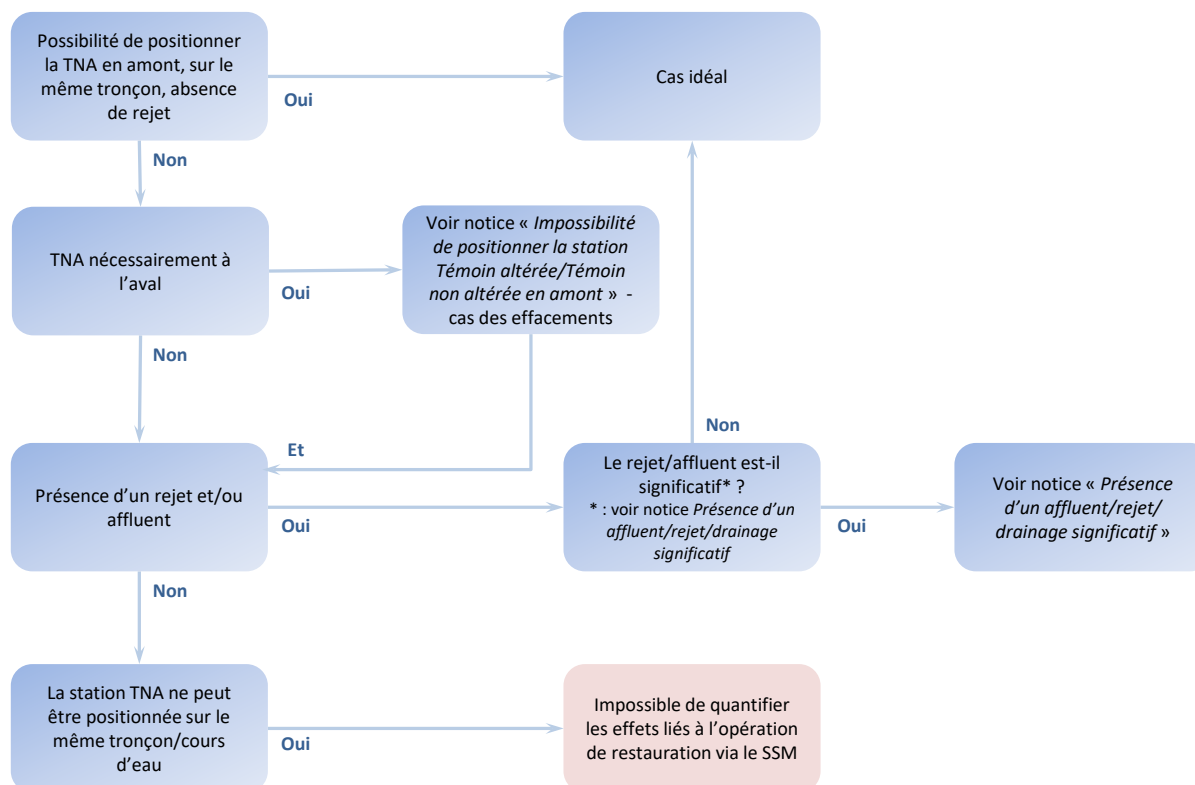


Figure 20 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas de l'effacement d'un seul ouvrage. Se reporter à *Positionnement : préconisations et cas particuliers* pour les notices et préconisations. TNA : station Témoin non altérée.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement de la station **TNA** lors du suivi pré et post-travaux doit rester strictement identique. Après travaux, la station **Restaurée amont** se placera sur le lit nouvellement créé, dans l'ancienne emprise de la retenue. Les points de prélèvement seront positionnés au plus près de leur localisation avant travaux. La station **Restaurée aval** gardera son positionnement initial.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas de l'effacement d'un ouvrage, le suivi doit être identique sur les stations **TNA**, **Restaurée amont** et **Restaurée aval** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Seule exception, les pêches sur la station **Restaurée amont** pourront être réalisées en suivant un protocole différent avant travaux (voir *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Sur les stations **Échelle étendue**, les compartiments seront suivis selon les objectifs, mais en conservant des protocoles standardisés (suivi des migrateurs par exemple, selon *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Pour les conditions de prélèvement, se référer aux chapitres *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la suppression de l'ouvrage (suppression ou diminution de l'effet retenue en amont, retour vers un profil en long plus naturel, reprise des processus d'érosion/de dépôt).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]* .

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après suppression de l'ouvrage, les effets de la diversification des habitats sur ces peuplements, notamment en amont avec l'augmentation des habitats lotiques, et en aval avec la diversification de la granulométrie. Pour les poissons, s'ajoute l'objectif de reconquête des milieux en amont de l'ancienne retenue par les migrateurs.

Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique suite à l'effacement. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la diversification des habitats et la modification du niveau trophique suite à l'effacement. Également, suivre le rétablissement de la continuité vers l'aval (dispersion des macrophytes).

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau. Également, **suivi spécifique** migrateurs (station **Échelle étendue**) ou espèces-cibles dans la retenue (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]*, notamment pour le suivi de la retenue et les suivis spécifiques, et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire).

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*).
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures in situ** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec la suppression de la retenue.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

Pour la station **Restaurée amont**, avant travaux, tous les points de prélèvements (à l'exception du point poissons le cas échéant, voir plus loin) seront positionnés au point de transition entre la zone prospectable à pied et la zone non prospectable à pied de la retenue. Cette limite constituera la limite aval pour les points de prélèvements Carhyce, invertébrés, macrophytes le cas échéant.

Le point de prélèvement poissons sera réalisé dans la partie médiane de la retenue, en bateau le cas échéant.

Cas particulier de retenue prospectable à pied sur au moins 50% de son emprise : voir le chapitre *points de prélèvement*, paragraphe *cas particulier d'une station en retenue*.

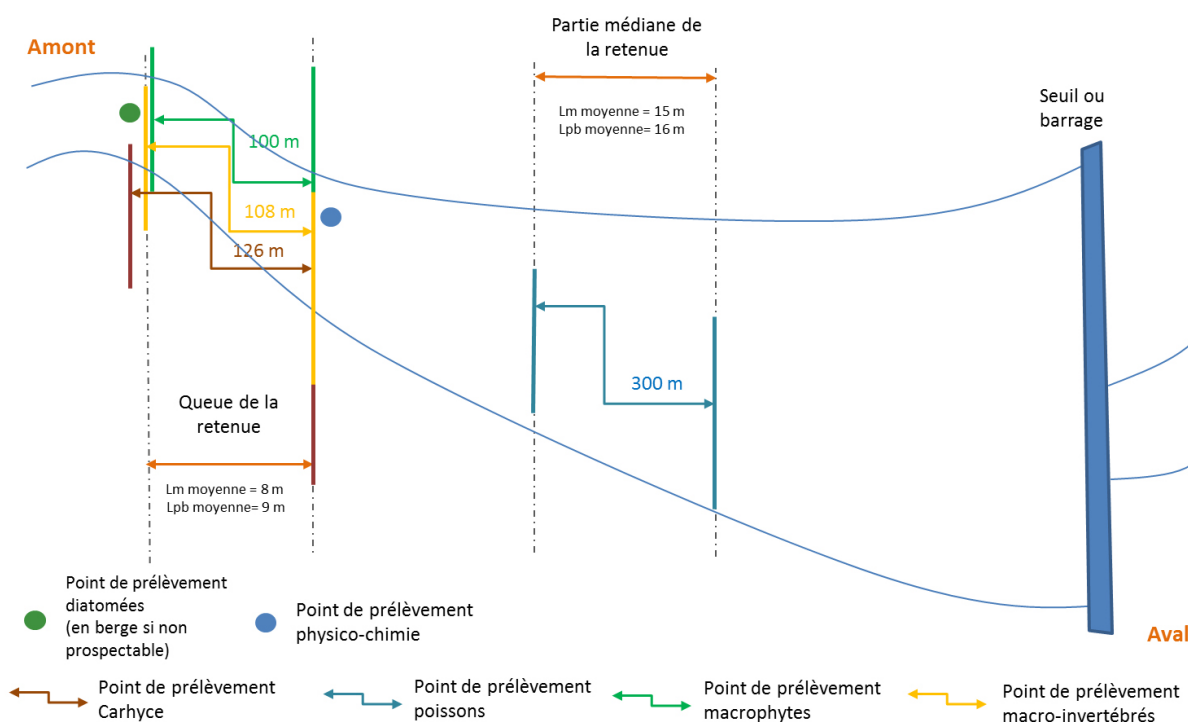


Figure 21 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Cas de la station en retenue d'ouvrage dont la majorité n'est pas prospectable à pied, avec Lm = largeur mouillée, Lpb = largeur pleins bords. Les points de prélèvements (autres que ponctuels) sont définis par la limite aval suivant le point Carhyce en limite de zone prospectable/non prospectable à pied, sauf pour la pêche, réalisée en milieu de retenue.

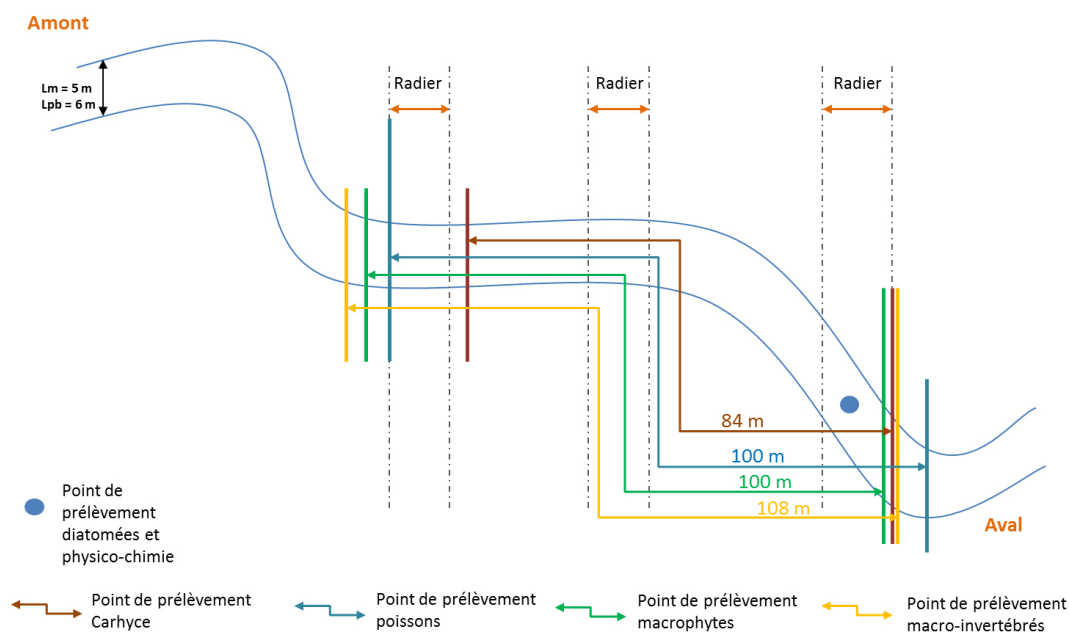


Figure 22 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Cas des stations hors retenue, exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5\text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6\text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre l'évolution du paysage avant-après travaux en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution du cours d'eau dans le contexte général du fond de la vallée et notamment observer les successions dans l'ancienne retenue.

Réalisation de photos du site, des ouvrages, du fond de vallée et du cours d'eau (se référer à la *Fiche 7 [Photos]*) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par l'effacement (disparition ou diminution de l'effet retenue, diversification des écoulements, reprise des processus d'érosion/dépôt, profil en long plus naturel).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux (fréquence de débordements...).

Se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* ;

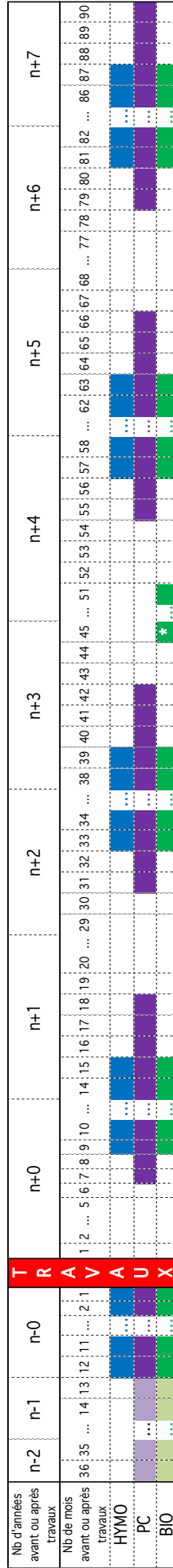
Suivi des connexions avec la nappe (recommandé)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe, en lien avec la baisse des niveaux d'eau dans la retenue.

Se référer à la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*.

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 23). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 23 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements facultatifs. En foncé les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

(Ouvrage ou plan d'eau sans ouvrage)

Dans le cas d'un contournement de plan d'eau, deux cas de figure se présentent : soit le cours d'eau avait été détourné pour la mise en place de l'ouvrage ou la création du plan d'eau (cas des biefs et retenues perchés), l'opération consiste alors à remettre le cours d'eau dans son talweg ; soit le plan d'eau ou l'ouvrage est placé en travers du lit naturel du cours d'eau (gravière en lit mineur ou plan d'eau sur cours d'eau par exemple) et l'opération consiste alors à créer un bras de contournement. On encouragera autant que possible la remise dans le talweg du cours d'eau, qui favorise la reprise des processus hydromorphologiques. Dans le second cas, c'est l'existence d'objectifs hydromorphologiques clairement identifiés et l'ambition des travaux qui conditionneront l'intérêt de suivre les travaux. Sont notamment exclus du suivi les dispositifs de franchissement piscicole, qu'il s'agisse de passe béton ou rustique.

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- restaurer le profil en long et la pente d'équilibre du cours d'eau ;
- restaurer l'hydrologie ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- favoriser la reconnexion des annexes fluviales et les échanges entre la nappe alluviale et le chenal.

Sur les communautés biologiques :

- changements de composition des peuplements biologiques et amélioration de l'état écologique par rapport au plan d'eau dans le cours d'eau de contournement et en amont/aval de celui-ci ;
- recréation d'habitats favorables au cycle de vie d'espèces-cibles dans le cours d'eau de contournement et/ou en aval de celui-ci ;
- amélioration de la qualité physico-chimique et thermique ;
- extension du front de colonisation (en particulier grands migrateurs, mais aussi espèces DHFF, espèces citées dans l'arrêté relatif au classement en liste 2 des cours d'eau, etc.) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du secteur restauré.

https://inpn.mnhn.fr/docs/natura2000/Directive_habitats_version_consolidee_2007.pdf

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer à la partie *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'un contournement d'ouvrage, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée amont**, une station **Restaurée aval**, une station **Témoin non altérée**.

Ici, et seulement dans le cas des suppressions ou contournements d'ouvrage, du fait de la stabilité des peuplements en conditions de type plans d'eau et de la difficulté de trouver un autre secteur en tous points comparable, la station **Témoin altérée** n'est pas obligatoire, mais peut être mise en place selon les objectifs du suivi.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 24, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet²⁰ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant la station **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant la station **Témoin** sur le même tronçon²¹ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 19 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'un contournement d'ouvrage ou plan d'eau (Figure 24), deux stations **Restaurées** doivent être mises en place (l'une dite « amont », l'autre « aval »). Le positionnement de la station **Restaurée amont** se fera avant travaux dans l'emprise de l'ouvrage (emprise du remous liquide).

Le positionnement de la station **Restaurée aval** se fera en aval proche de l'ouvrage **et** de la confluence avec le bras de contournement.

La station **Témoin non altérée** se positionnera sur un secteur non altéré (hors retenue), en amont du secteur restauré.

Remarque

Dans le cas du contournement d'un ouvrage bloquant pour la migration, l'effacement pourra influencer le peuplement piscicole de la station TNA, mais les espèces amenées à remonter sont a priori bien ciblées par le diagnostic, ce ne sera donc pas problématique pour l'analyse.

Les stations de type **Échelle étendue** seront particulièrement indiquées dans le cas d'un contournement d'ouvrage ou de plan d'eau, pour suivre d'une part un éventuel front de migration des espèces piscicoles, d'autre part une évolution de la charge sédimentaire du cours d'eau. Dans le premier cas, il sera intéressant de positionner de telles stations sur les affluents en amont de l'ouvrage contourné ainsi que plus en amont sur le cours d'eau. Dans le second cas, une station en aval éloigné pourra informer sur d'éventuelles évolutions du transport sédimentaire.

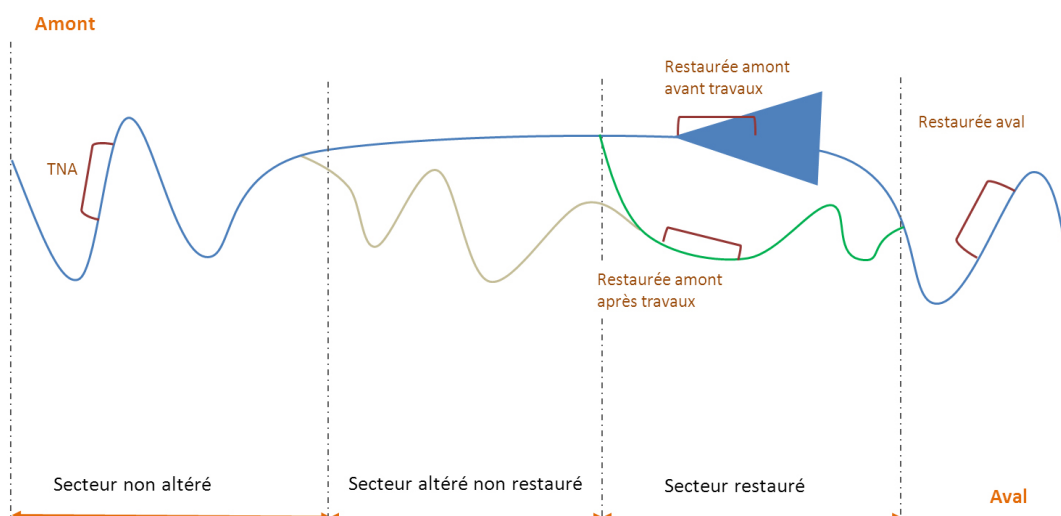


Figure 24 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. Exemple dans le cas d'un contournement avec remise dans le talweg. TNA = station Témoin non altérée. En vert le lit recréé, en gris l'ancien tracé (fond de talweg). Cas idéal.

²⁰ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers, cas n°1*.

²¹ Voir le glossaire en fin de guide.

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 25), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

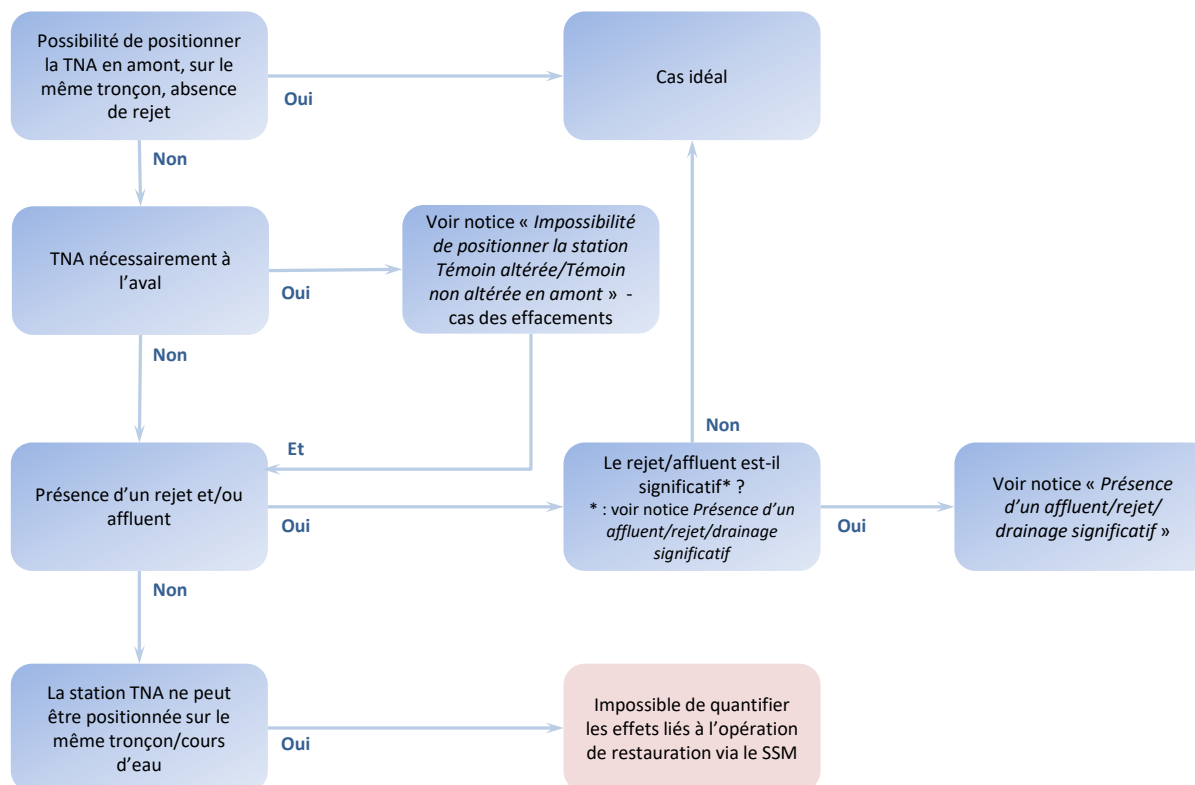


Figure 25 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas du contournement de plan d'eau. Se reporter à *Positionnement : préconisations et cas particuliers* pour les notices et préconisations. TNA : station Témoin non altérée.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement de la station **TNA** lors du suivi pré et post-travaux doit rester strictement identique. Après travaux, la station **Restaurée amont** sera repositionnée sur le lit recréé, au droit de l'ancienne localisation sur le bief. La station **Restaurée aval** gardera son positionnement initial.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas du contournement d'un ouvrage ou d'un plan d'eau, le suivi doit être identique sur les stations **TNA**, **Restaurée amont** et **Restaurée aval** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Seule exception, les pêches sur la station **Restaurée amont** pourront être réalisées en suivant un protocole différent *avant travaux* (voir *Positionnement des points de prélèvement sur la station*). Sur les stations **Échelle étendue**, les compartiments sont suivis selon les objectifs, mais en conservant des protocoles standardisés (suivi des migrateurs par exemple, selon *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Pour les conditions de prélèvement, se référer aux chapitres *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par le contournement de l'ouvrage (suppression de l'effet retenue en amont, retour vers un profil en long plus naturel, reprise des processus d'érosion/de dépôt dans le bras de contournement et en aval).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après contournement du plan d'eau, les effets de la diversification des habitats sur ces peuplements, notamment en amont avec l'augmentation des habitats lotiques, et en aval avec la diversification de la granulométrie. Pour les poissons, s'ajoute l'objectif de reconquête des milieux en amont du plan d'eau par les migrateurs. Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique suite au contournement. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la diversification des habitats et la modification du niveau trophique suite au contournement. Également, suivre le rétablissement de la continuité vers l'aval (dispersion des macrophytes).

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau. Également, **suivi spécifique** migrateurs (station **Échelle étendue**) ou espèces-cibles dans la retenue (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]*, notamment pour le suivi de la retenue et les suivis spécifiques, et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire).

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*).
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie liée au contournement, détecter des perturbations éventuelles, détecter une pollution lors de l'éventuelle vidange du plan d'eau.

Paramètres mesurés :

- **mesures in situ** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec le contournement du plan d'eau.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

Pour la station **Restaurée amont**, avant travaux, tous les points de prélèvements (à l'exception du point poissons) seront positionnés au point de transition entre la zone prospectable à pied et la zone non prospectable à pied de la retenue. Cette limite constituera la limite aval pour les points de prélèvements Carhyce, invertébrés, macrophytes le cas échéant.

Le point de prélèvement poissons sera réalisé dans la partie médiane de la retenue, en bateau le cas échéant.

Cas particulier de retenue prospectable à pied sur au moins 50% de son emprise : voir le chapitre *points de prélèvement*, paragraphe *cas particulier d'une station en retenue*.

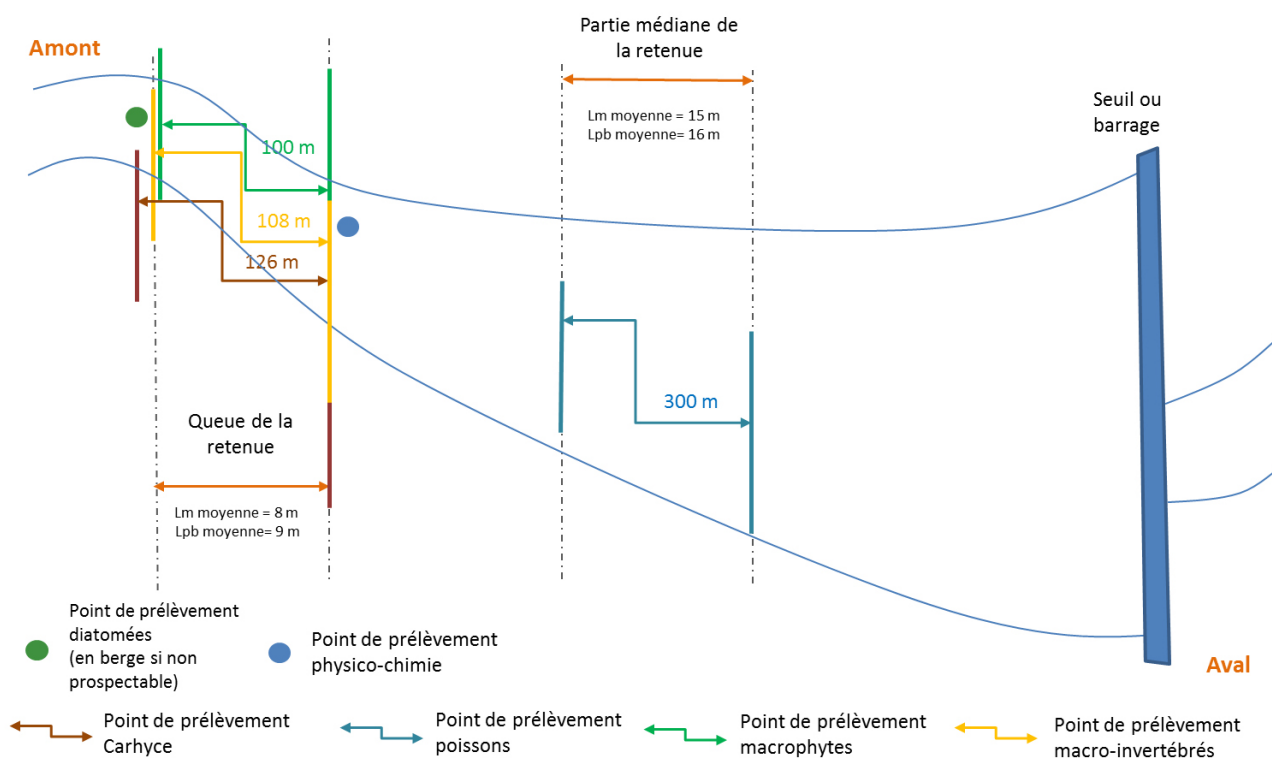


Figure 26 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Cas de la station en retenue d'ouvrage dont la majorité n'est pas prospectable à pied, avec Lm = largeur mouillée, Lpb = largeur pleins bords. Les points de prélèvements (autres que ponctuels) sont définis par la limite aval suivant le point Carhyce en limite de zone prospectable/non prospectable à pied, sauf pour la pêche, réalisée en milieu de retenue.

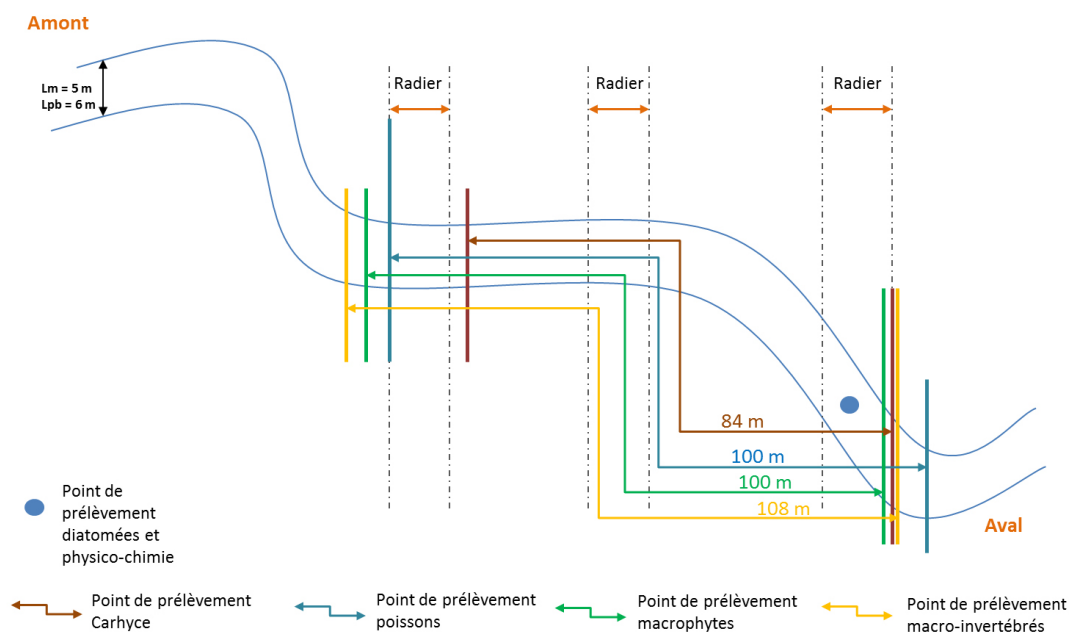


Figure 27 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Cas des stations hors retenue, exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5$ m et largeur pleins bords $L_{pb} = 6$ m. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre l'évolution du paysage avant-après contournement du plan d'eau en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution du plan d'eau conservé et du cours d'eau nouvellement créé.

Réalisation de photos du site, des ouvrages, du fond de vallée et du cours d'eau (se référer à la Fiche 7 [Photos]) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre l'apparition de nouveaux faciès dans le bras de contournement, et les évolutions apportées par le contournement (disparition de l'effet retenue, diversification des écoulements, reprise des processus d'érosion/dépôt, profil en long plus naturel).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux (fréquence de débordements, débit entrant dans les deux bras le cas échéant...).

Se référer à la Fiche 9 [Hydrologie] ;

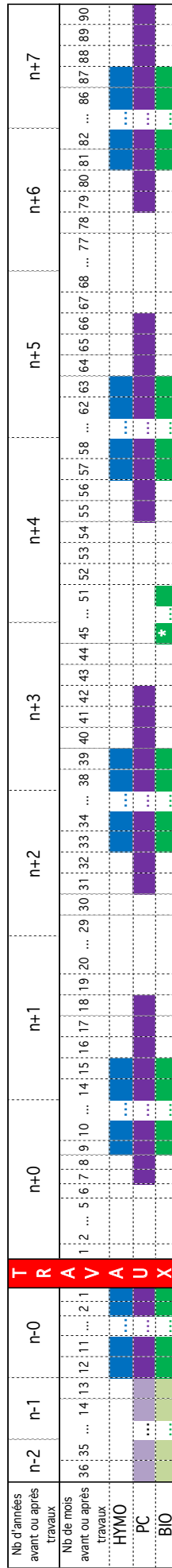
Suivi des connexions avec la nappe (recommandé)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe et des connexions nappe-rivière, en lien avec la déconnexion du plan d'eau, et surtout en lien avec la remise dans le talweg s'il y a lieu.

Se référer à la Fiche 10 [Connexions avec la nappe].

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 28). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



- Le suivi à réaliser dans tous les cas.
- Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
- Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
- HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 28 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements facultatifs. En foncé les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

« Remettre un cours d'eau dans son talweg consiste, lorsqu'il est canalisé et perché, à le replacer en fond de vallée pour le reconnecter à sa nappe d'accompagnement. » [29]

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- restaurer le profil en long et la pente d'équilibre du cours d'eau ;
- restaurer l'hydrologie ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- favoriser la reconnexion des annexes fluviales et les échanges entre la nappe alluviale et le chenal.

Sur les communautés biologiques :

- changements de composition des peuplements biologiques liés à la diversification des habitats (diversification du peuplement, retour d'espèces lithophiles, etc.) et à la reconnexion avec la nappe alluviale ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du secteur restauré.

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer au chapitre *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'une remise dans le talweg, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée**, une station **Témoin non altérée**, une station **Témoin altérée**.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 29, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet²² ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant les stations **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant les stations **Témoin** sur le même tronçon²³ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 30 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'une remise dans le talweg (Figure 29), le positionnement de la station **Restaurée** se fera sur le bief perché, dans le secteur à restaurer.

La station **TA** se positionnera sur un secteur altéré non restauré, c'est-à-dire dans le bief perché qui ne sera pas restauré, en amont du secteur restauré afin de ne pas être impactée par les travaux de restauration.

La station **TNA** se positionnera sur un secteur non altéré (lit dans le talweg), en amont du secteur restauré.

Au besoin, les stations **Échelle étendue** seront positionnées selon les objectifs de la restauration (modification du transport sédimentaire, limitation de l'érosion sur d'autres secteurs, etc.).

²² Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*, cas n°1.

²³ Voir le glossaire en fin de guide.

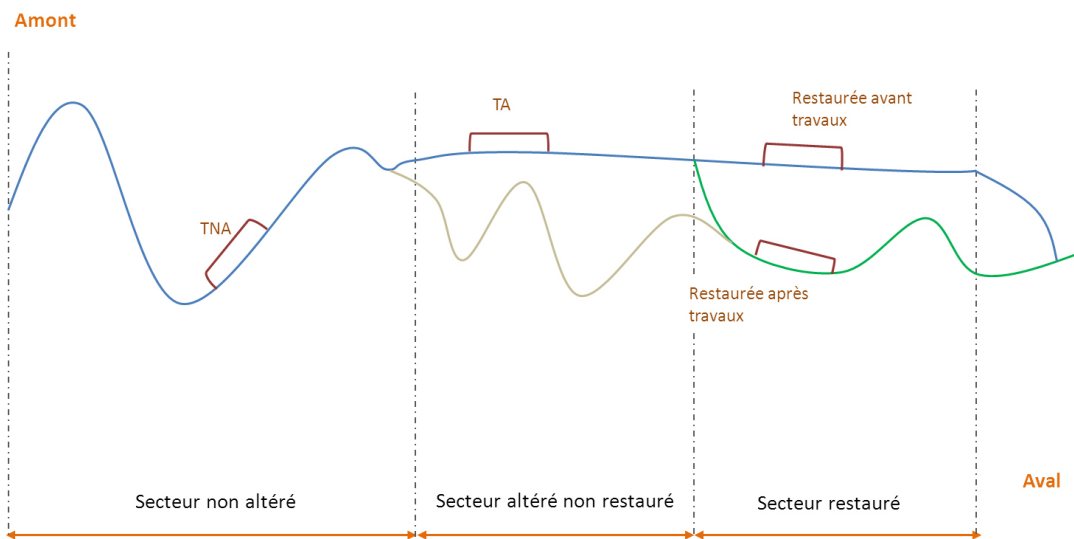


Figure 29 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TA = station Témoin altérée, TNA = station Témoin non altérée. En vert le lit recréé, en grisé l'ancien tracé (fond de talweg). Cas idéal.

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 30), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

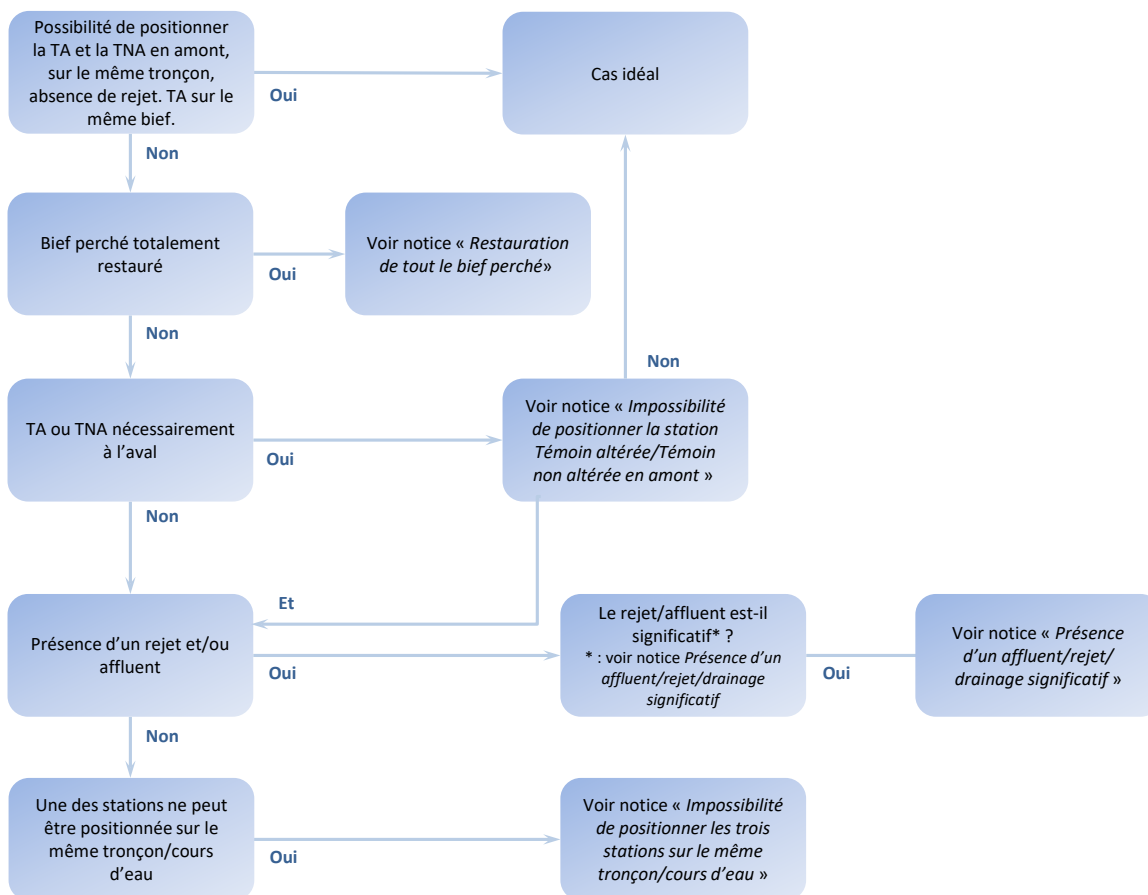


Figure 30 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas de la remise dans le talweg. Se reporter à *Positionnement : préconisations et cas particuliers* pour les notices et préconisations. TA : station Témoin altérée, TNA : station Témoin non altérée.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement des stations lors de suivi pré et post-travaux doit rester **strictement identique** pour les stations **TA** et **TNA**. Après travaux, la station **Restaurée** sera repositionnée sur le lit recréé, au droit de l'ancienne localisation sur le bief.

Il est possible de réaliser des suivis sur l'ancien bief, si celui-ci n'est pas comblé, mais ce n'est pas indispensable.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas de la remise dans le talweg, le suivi doit être identique sur toutes les stations **Témoins** et **Restaurée** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Pour les conditions de prélèvement, se référer aux chapitres *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Sur les stations **Échelle étendue** le cas échéant, les objectifs de l'opération de restauration détermineront les compartiments/éléments à suivre. On procèdera dans tous les cas aux relevés via des protocoles standardisés (pour le suivi des migrateurs, voir *Fiche 2 [Faune piscicole]*).

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la remise dans le talweg (retour vers un profil en long plus naturel, modification des niveaux d'eau...).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après remise dans le talweg, liée à la diversification des habitats, à la reconnexion avec la nappe et avec le fond de vallée et les annexes. Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique suite au rétablissement des connexions avec la nappe. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la diversification des habitats et la modification des échanges nappe-rivière.

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]* et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire) ;

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*);
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie liée à la reconnexion avec la nappe, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures *in situ*** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec la reconnexion avec la nappe et les échanges nappe-rivière.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

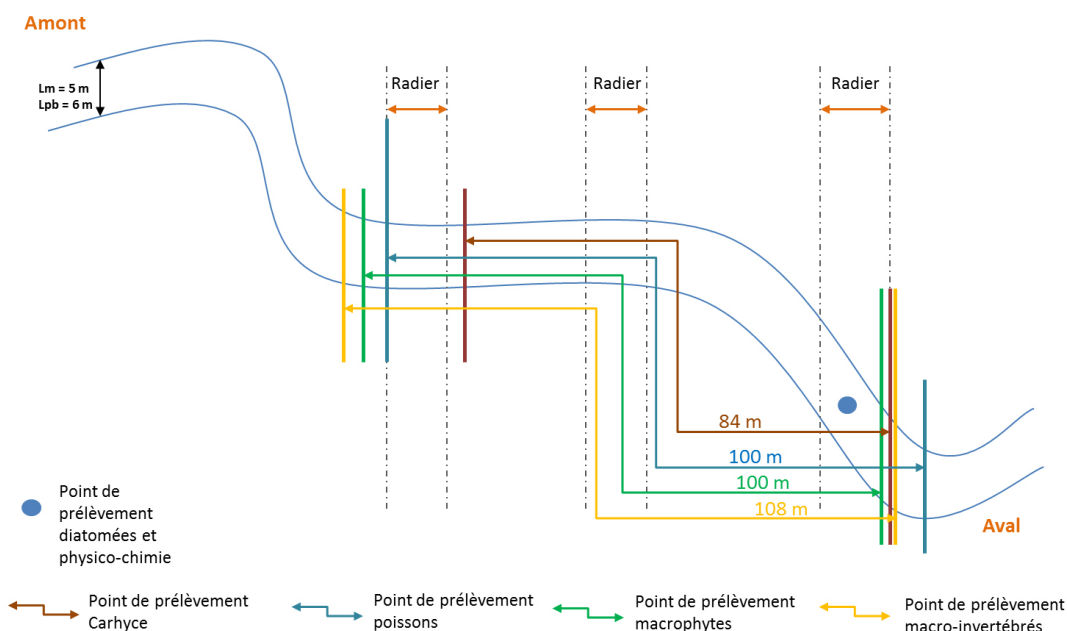


Figure 31 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5 \text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6 \text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre l'évolution du paysage avant-après remise dans le talweg en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution du fond de vallée et du lit nouvellement créé ou recreusé.

Réalisation de photos du site, du cours d'eau, du fond de vallée (se référer à la *Fiche 7 [Photos]*) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la remise dans le talweg (restauration du profil en long, reprise des processus d'érosion/dépôt).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux et notamment le retour des crues en fond de vallée (reconnexion avec la plaine d'inondation et les annexes).

Se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* ;

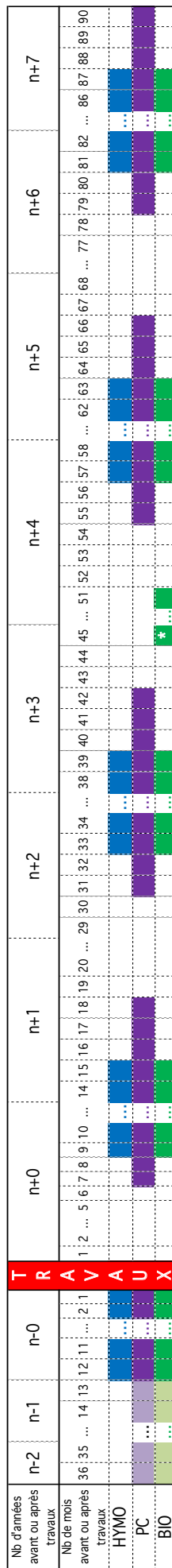
Suivi des connexions avec la nappe (recommandé)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe et des échanges nappe-rivière en lien avec la remise dans le talweg.

Se référer à la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*.

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 32). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 32 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements facultatifs. En foncé les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

(directe ou suite à une recharge en patch[s])

« Pour remédier à [des] phénomènes d'incision et de disparition du substrat alluvial, [et si l'on ne peut ni restaurer un espace de mobilité au cours d'eau, ni compter sur des apports naturels de l'amont ou latéraux], il sera nécessaire d'apporter sur place les matériaux. » [28] Cet apport constitue l'objet de la reconstitution du matelas alluvial.

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- recréer une couche de substrat alluvial sur les tronçons où celle-ci a disparu ou est trop peu épaisse ;
- rehausser le fond du lit sur des secteurs incisés et limiter la poursuite de l'incision ;
- rehausser la ligne d'eau à l'étiage ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- améliorer la connectivité latérale.

Sur les communautés biologiques :

- recréation d'habitats favorables à des peuplements biologiques diversifiés (notamment concernant les taxons benthiques et/ou lithophiles) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du site.

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer au chapitre *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'une reconstitution du matelas alluvial, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée**, une station **Témoin non altérée**, une station **Témoin altérée**.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 33, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet²⁴ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant les stations **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant les stations **Témoin** sur le même tronçon²⁵ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 34 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'une reconstitution du matelas alluvial (Figure 33), la station **Restaurée** se positionnera sur le secteur présentant un déficit sédimentaire et qui doit être rechargé. On veillera à positionner la station hors cas particulier, c'est à dire ni en limite amont, ni en limite aval, ni sur une particularité locale du secteur restauré (par exemple, un faciès non représentatif du linéaire rechargé).

La station **TA** se positionnera sur le secteur altéré non restauré (c'est-à-dire un secteur ayant un déficit sédimentaire et qui ne fait pas l'objet d'une restauration). Elle sera en amont de l'opération de restauration (en restant sur le même tronçon).

La station **TNA** se positionnera sur un secteur ne présentant pas de déficit sédimentaire sur le cours d'eau.

²⁴ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*, cas n°1.

²⁵ Voir le glossaire en fin de guide.

Une station **Échelle étendue** est préconisée ici afin de suivre l'évolution et la mobilité de la charge sédimentaire sur le cours d'eau. Elle sera située en aval du secteur rechargé, et se positionnera selon le dimensionnement de l'opération et les prévisions de mobilité des granulats introduits (selon le débit de crue biennal – Q2, la caractérisation de la granulométrie - D50, etc.).

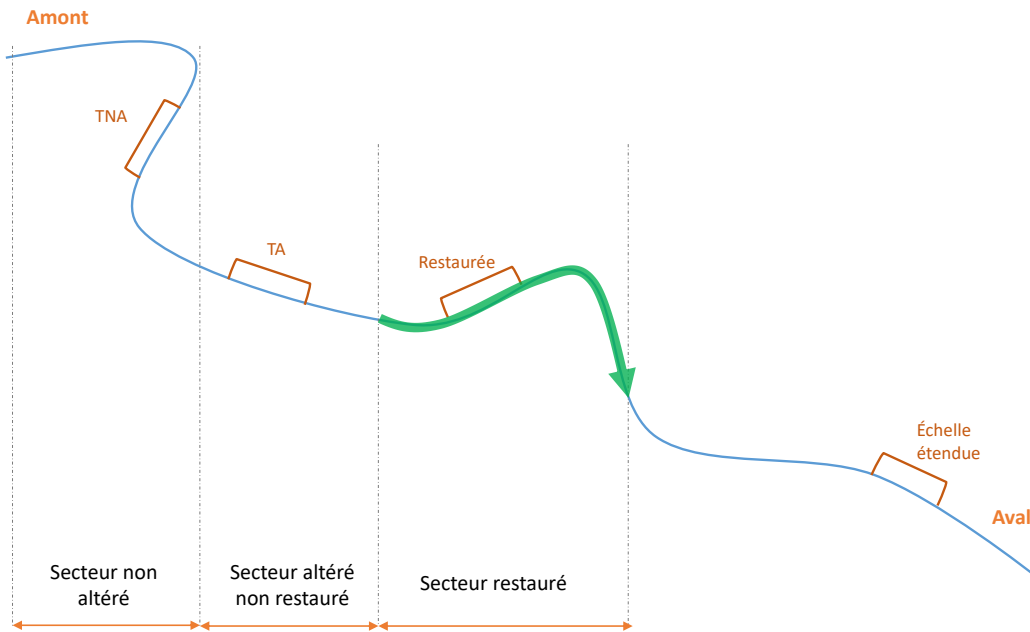


Figure 33 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TA = station Témoine altérée, TNA = station Témoine non altérée. En vert le matelas alluvial recréé et le sens de l'expansion prévue. Cas idéal.

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 34), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

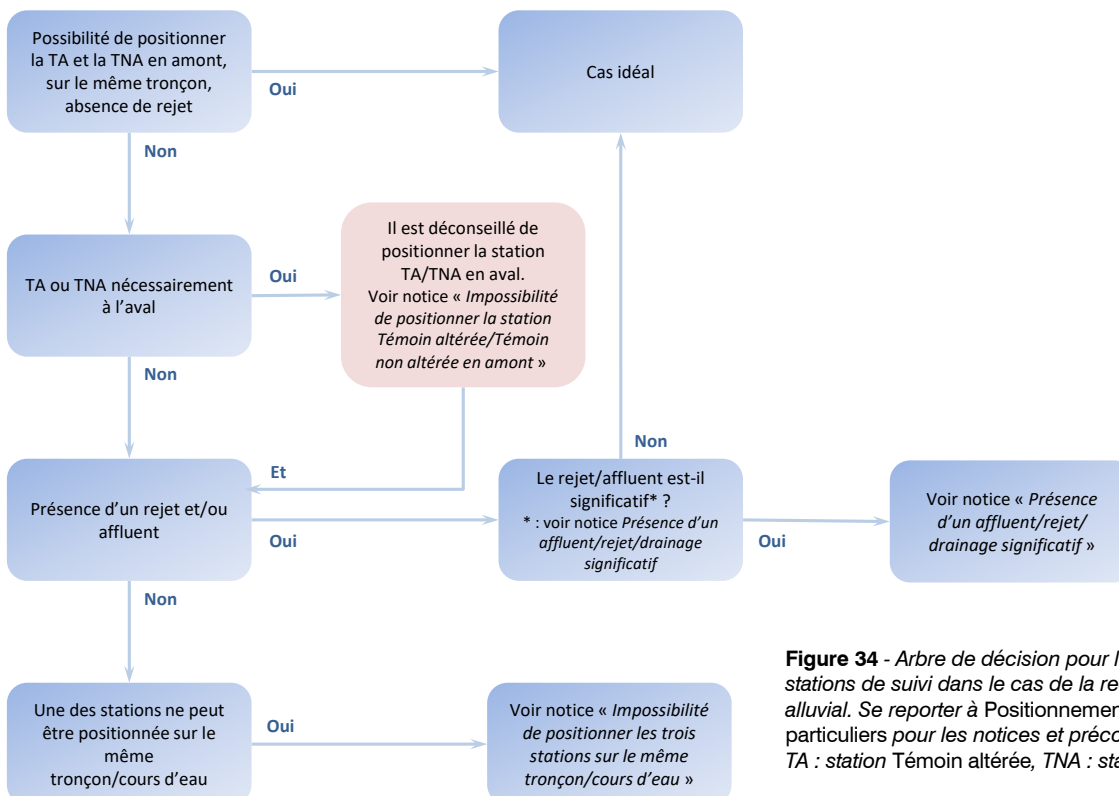


Figure 34 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas de la reconstitution du matelas alluvial. Se reporter à Positionnement : préconisations et cas particuliers pour les notices et préconisations. TA : station Témoine altérée, TNA : station Témoine non altérée

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement des stations lors de suivi pré et post-travaux doit rester **strictement identique** pour toutes les stations du suivi.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas de la reconstitution du matelas alluvial, le suivi doit être identique sur toutes les stations **Témoins** et **Restaurée** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Pour les conditions de prélèvement, se référer aux chapitres *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Sur les stations **Échelle étendue** le cas échéant, les objectifs de l'opération de restauration détermineront les compartiments/éléments à suivre. On procèdera dans tous les cas aux relevés via des protocoles standardisés (notamment ici via le protocole Carhyce).

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la reconstitution du matelas alluvial (retour vers un profil en long plus naturel, limitation de l'incision, diversification des écoulements...).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après reconstitution du matelas alluvial, liée à la diversification des habitats, à l'augmentation des caches et abris (granulométrie grossière). Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique le cas échéant. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la diversification des habitats et la modification du niveau trophique si attendu.

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]* et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire) ;

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*);
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures *in situ*** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec la reconstitution du matelas alluvial et la diversification des écoulements.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

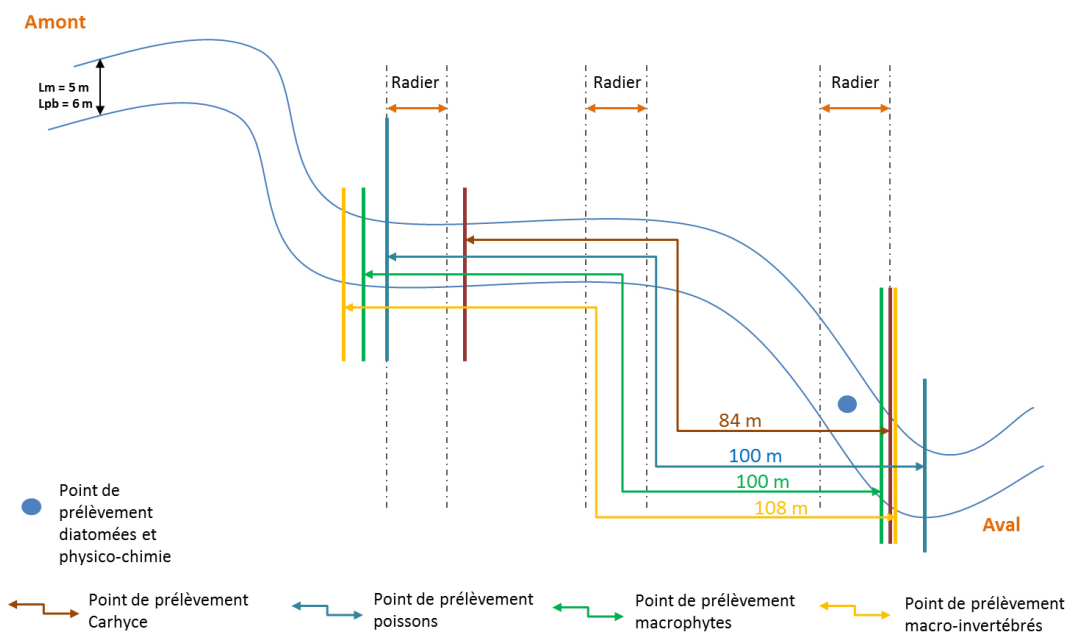


Figure 35 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5\text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6\text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre l'évolution du paysage avant-après reconstitution du matelas alluvial en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution visuelle du fond du lit et des atterrissements.

Réalisation de photos du site, du cours d'eau, du fond de vallée (se référer à la *Fiche 7 [Photos]*) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la recharge granulométrique (reprise des processus d'érosion/dépôt, limitation de l'incision, diversification des écoulements).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux et notamment les paramètres liés à la mobilisation du matelas alluvial.

Se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* ;

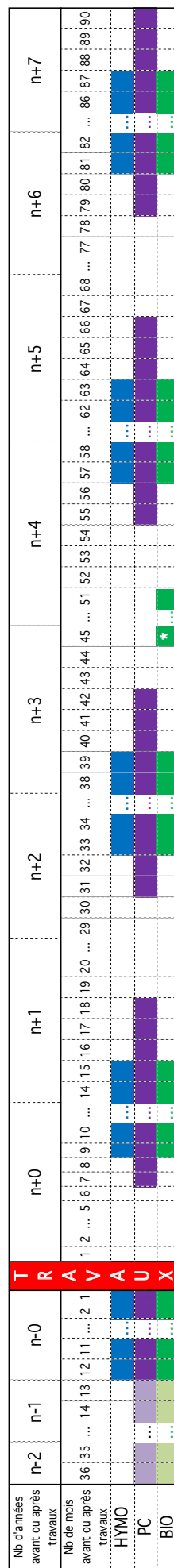
Suivi des connexions avec la nappe (recommandé)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe et des connexions nappe-rivière en lien avec la recharge granulométrique.

Se référer à la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*.

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 36). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 36 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements facultatifs. En foncé les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

dans le lit mineur et/ou au-delà : suppression d'enrochements et/ou de digues et/ou de merlons de curage

« Le principe sous-tendant la démarche de suppression des contraintes latérales se situe dans la logique de mise en œuvre du concept d'instauration ou de restauration de l'espace de mobilité des cours d'eau. » [28] Le terme inclut également ici des opérations plus modestes impliquant la reconnexion avec les annexes hydrauliques.

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- réactiver la dynamique fluviale par la création de zones préférentielles d'érosion et de dépôts ;
- recréer une couche de substrat alluvial sur les tronçons où celle-ci a disparu ou est trop peu épaisse ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- améliorer la connectivité latérale.

Sur les communautés biologiques :

- recréation d'habitats favorables aux peuplements biologiques ;
- favoriser les communications avec les annexes latérales (zones refuge et zones de reproduction) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du site.

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer au chapitre *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'une suppression des contraintes latérales, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée**, une station **Témoin non altérée**, une station **Témoin altérée**.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 37, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet²⁶ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations;
- positionnant les stations **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant les stations **Témoin** sur le même tronçon²⁷ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 38 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'une suppression des contraintes latérales (Figure 37), la station **Restaurée** se positionnera sur le secteur restauré, dans l'exemple le secteur où les digues sont supprimées. La station **Témoin altérée** se positionnera sur le secteur altéré non restauré (c'est-à-dire dans ce cas, le secteur sur lequel les digues sont conservées). Elle sera en amont de l'opération de restauration, afin de ne pas être impactée par l'opération elle-même et se trouver en amont des secteurs éventuellement reconnectés avec les annexes (sur la Figure 37, zone humide et bras mort reconnectés dans le secteur restauré).

La station **Témoin non altérée** se positionnera sur un secteur non altéré, ici non contraint par des digues. Elle sera elle aussi située en amont de l'opération de restauration.

²⁶ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*, cas n°1.

²⁷ Voir le glossaire en fin de guide.

Dans le cadre de ce type de restauration, s'il y a reconnexion avec les annexes, des suivis spécifiques pourront être réalisés dans les annexes.

Au besoin, des stations **Échelle étendue** seront positionnées selon les objectifs de la restauration (modification du transport sédimentaire, limitation de l'érosion sur d'autres secteurs, etc.).

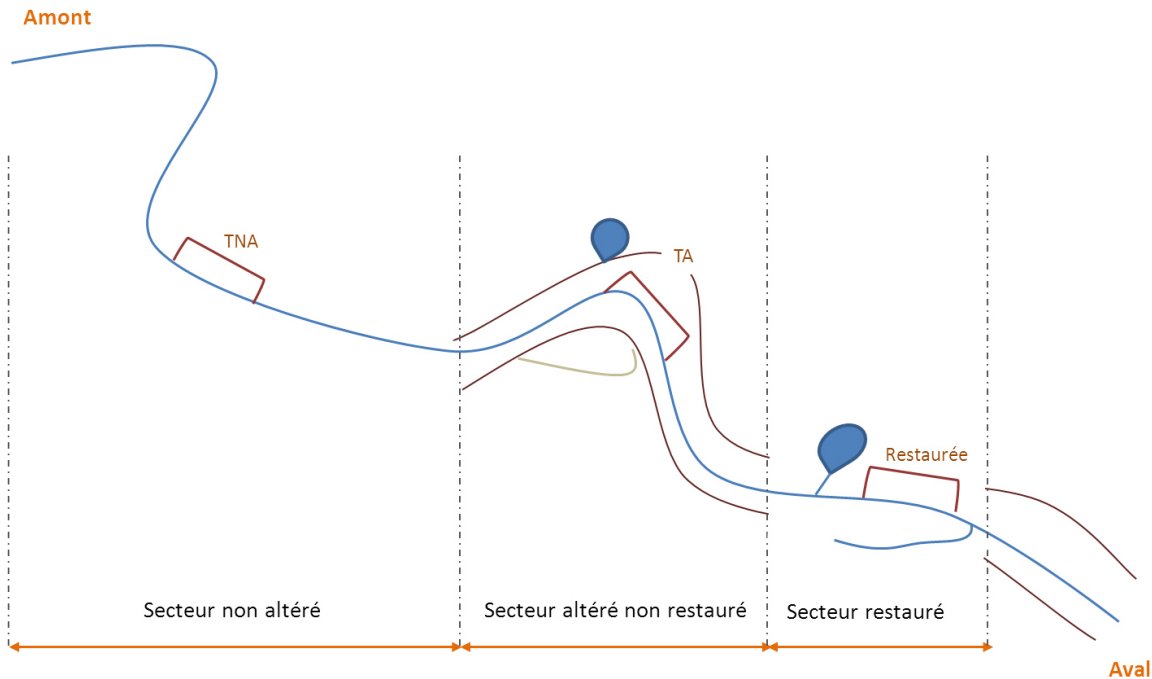


Figure 37 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TA = station Témoin altérée, TNA = station Témoin non altérée. En brun les digues en place de part et d'autre du cours d'eau, en grisé un bras mort déconnecté. Cas idéal (exemple de la suppression de digues, même principe en cas de suppression de merlons de curage, d'enrochements, etc.).

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 38), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

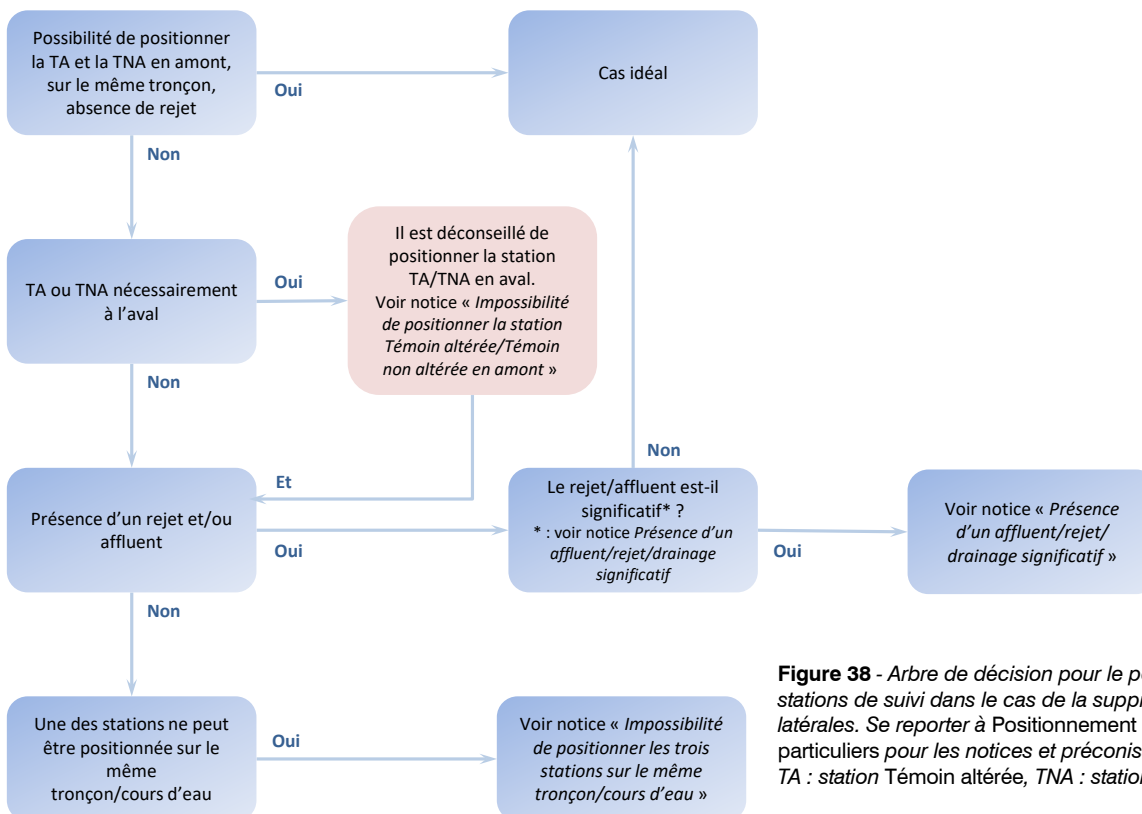


Figure 38 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas de la suppression des contraintes latérales. Se reporter à Positionnement : préconisations et cas particuliers pour les notices et préconisations. TA : station Témoin altérée, TNA : station Témoin non altérée.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement des stations lors de suivi pré et post-travaux doit rester **strictement identique** pour toutes les stations du suivi.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas de la suppression des contraintes latérales, le suivi doit être identique sur toutes les stations **Témoins** et **Restaurée** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Pour les conditions de prélèvement, se référer aux chapitres *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Sur les stations **Échelle étendue** le cas échéant, les objectifs de l'opération de restauration détermineront les compartiments/éléments à suivre. On procédera dans tous les cas aux relevés via des protocoles standardisés (notamment ici via le protocole Carhyce).

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la suppression des contraintes latérales (limitation de l'incision, modification des berges...).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après suppression des contraintes latérales, liée à la reconnexion avec des milieux annexes ou avec des berges plus naturelles. Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique le cas échéant. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la reconnexion avec les annexes et la modification du niveau trophique si attendu.

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]* et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire) ;

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*);
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures *in situ*** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec la reconnexion avec les annexes.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

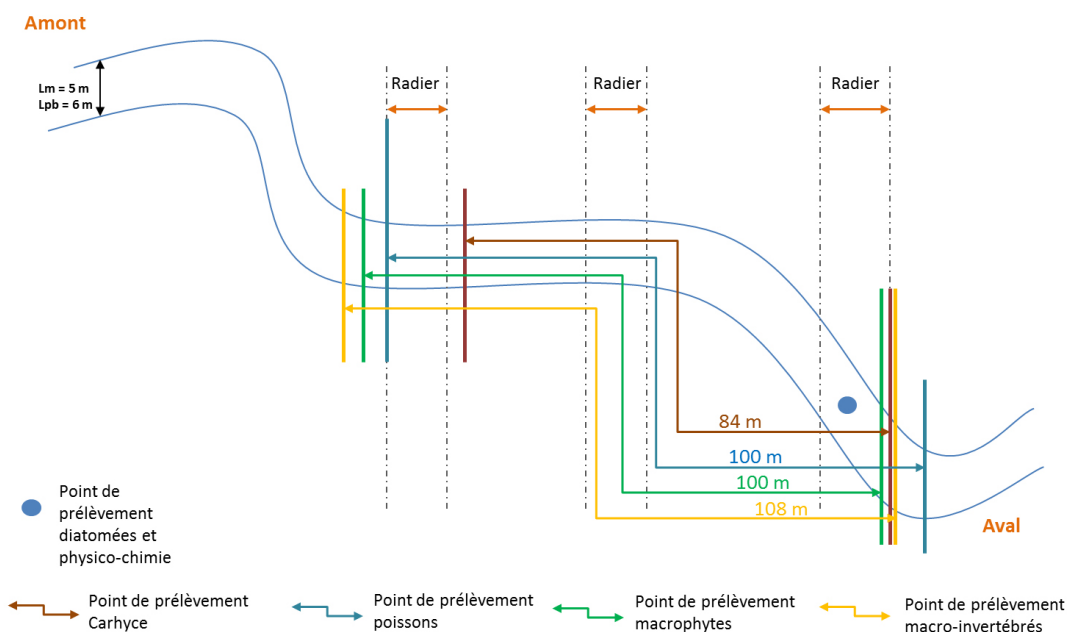


Figure 39 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5\text{ m}$ et largeur pleins bords $L_{pb} = 6\text{ m}$. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre visuellement l'évolution avant-après suppression des contraintes en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution visuelle des berges et du fond de vallée.

Réalisation de photos du site, du cours d'eau, du fond de vallée (se référer à la *Fiche 7 [Photos]*) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la suppression des contraintes latérales (limitation de l'incision, reprise des processus d'érosion/dépôt en lien avec la plaine alluviale).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la *Fiche 8 Profil en long et faciès d'écoulements*) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux et notamment la fréquence et les caractéristiques des débordements.

Se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* ;

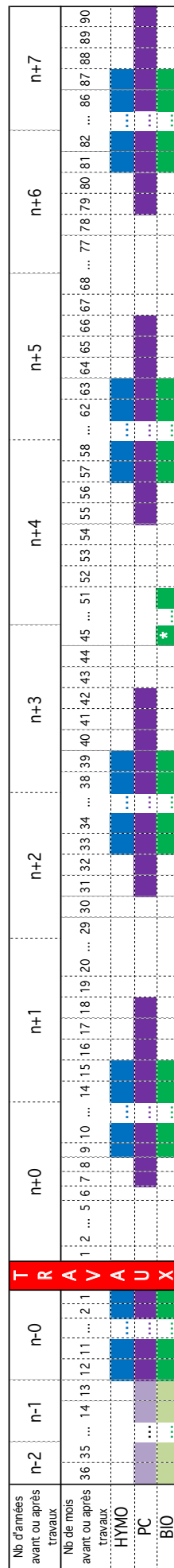
Suivi des connexions avec la nappe (si enjeu)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe et des connexions nappe-rivière en lien avec la suppression des contraintes latérales, notamment avec la reconnexion des annexes.

Se référer à la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*.

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 40). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.



■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 40 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements facultatifs. En foncé les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

Sans modification significative de l'emprise foncière

« La modification de la géométrie du lit mineur/moyen dans un espace limité constitue une opération technique délicate à mettre en œuvre, puisqu'elle est toujours le résultat d'un compromis a priori antinomique, entre la volonté de produire un milieu alluvial élargi [ou plus diversifié] tout en étant néanmoins contraint. » [28] Ce type de travaux correspond à une volonté de reméandrer mais dans un système soumis à des contraintes foncières avec une ambition nécessairement moindre qu'un reméandrage. Il s'agit typiquement de cours d'eau en milieu urbain ou péri-urbain mais pas systématiquement, il peut s'agir d'un cours d'eau en milieu rural dont la maîtrise foncière ne permet pas des travaux au-delà du lit mineur. Cependant il ne s'agit pas là d'inclure de simples mesures de diversification du lit mineur (pose de blocs, épis, embâcles...) mais de viser le rétablissement, au moins partiel, des processus hydromorphologiques altérés.

Exemples : reméandrage à l'intérieur du lit mineur, resserrement du lit d'étiage, création de lits emboîtés (voir Figure 41).

Objectifs

Sur l'hydromorphologie :

- augmenter la profondeur de la lame d'eau en étiage ;
- diversifier les morphologies du lit (faciès, profils en travers) ;
- diversifier les écoulements et les habitats du lit mineur ;
- favoriser l'auto-curage et limiter les risques de colmatage.

Sur les communautés biologiques :

- changements de composition des peuplements biologiques liés à la diversification des habitats (diversification du peuplement, retour d'espèces lithophiles, etc.) ;
- à moyen terme (3 à 5 ans), amélioration de l'état écologique au niveau du secteur restauré.

Positionnement des stations

Pour les définitions des différentes stations, leur signification et leur positionnement général, se référer au chapitre *Types et positionnement des stations de mesure*. Dans le cadre d'une modification de la géométrie du lit, trois stations *a minima* sont préconisées : une station **Restaurée**, une station **Témoin non altérée**, une station **Témoin altérée**.

Les stations seront positionnées en suivant les préconisations ci-après et Figure 41, dans la mesure du possible en :

- positionnant les stations de sorte qu'aucun rejet²⁸ ou affluent significatif ne s'intercale entre les stations ;
- positionnant les stations **Témoin** à l'amont des travaux ;
- positionnant les stations **Témoin** sur le même tronçon²⁹ que la station **Restaurée**.

En cas d'impossibilité, on suivra les préconisations suivant l'arbre de décision donné en Figure 42 et la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

Cas idéal

Dans le cas d'une modification de la géométrie du lit (Figure 41), la station **Restaurée** se positionnera sur le secteur restauré, dans l'exemple sur le secteur faisant l'objet d'un rétrécissement du lit.

La station **TA** se positionnera sur le secteur altéré (ici recalibré) non restauré. Elle sera en amont de l'opération de restauration, afin de ne pas être impactée par l'opération elle-même (exemple : colmatage lié aux travaux).

²⁸ Voir la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*, cas n° 1.

²⁹ Voir le glossaire en fin de guide.

La station **TNA** se positionnera sur un secteur non altéré, ici non recalibré. Elle sera également en amont de l'opération de restauration.

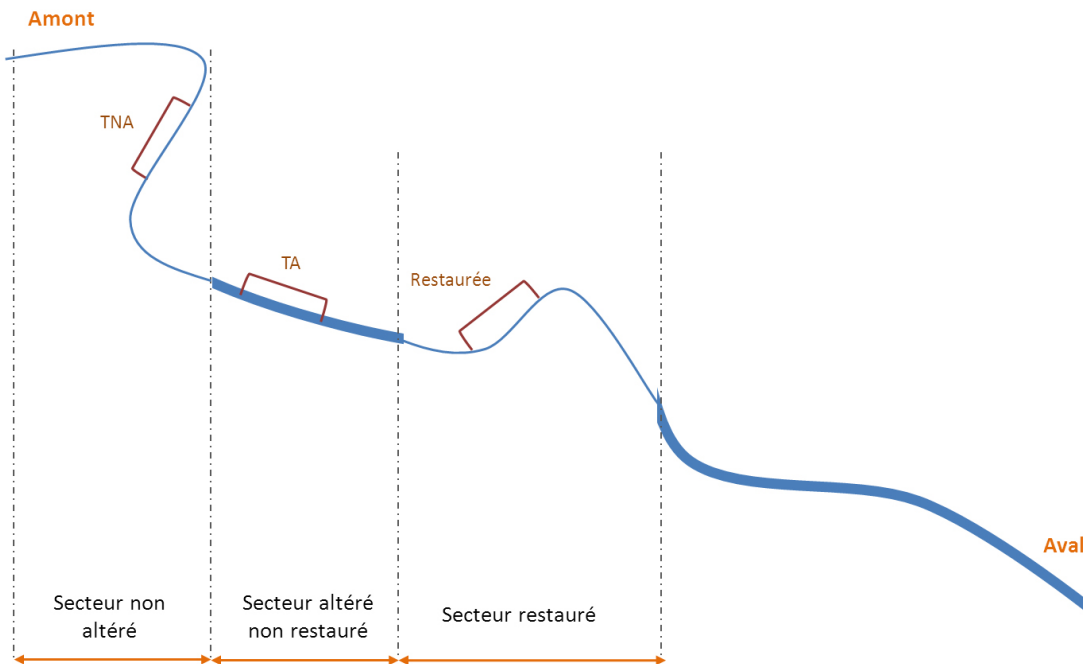


Figure 41 - Localisation des secteurs et positionnement des stations. TA = station Témoin altérée, TNA = station Témoin non altérée. Cas idéal (exemple d'un rétrécissement de lit recalibré).

Autre cas : arbre de décision

Pour le positionnement des stations et pour pointer les éventuels écarts au cas idéal, se référer à l'arbre de décision ci-après (Figure 42), dont la lecture se fera d'après la partie *Positionnement : préconisations et cas particuliers*.

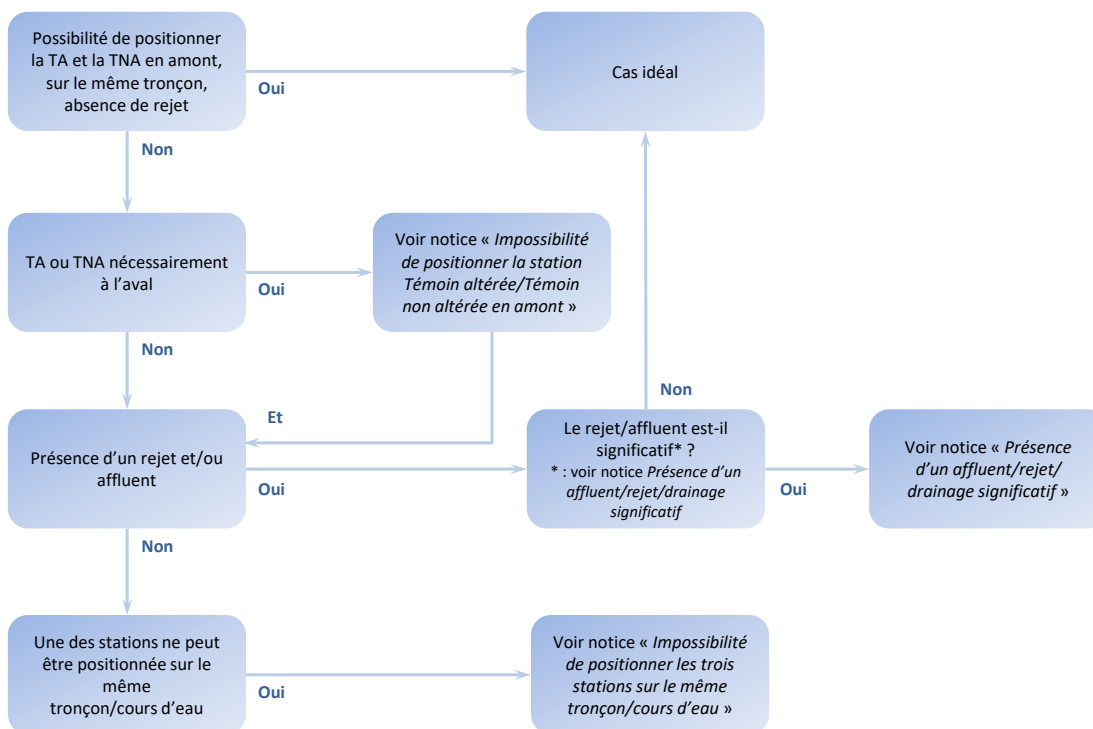


Figure 42 - Arbre de décision pour le positionnement des stations de suivi dans le cas de la modification de la géométrie du lit. Se reporter à Positionnement : préconisations et cas particuliers pour les notices et préconisations. TA : station Témoin altérée, TNA : station Témoin non altérée.

Positionnement avant/après travaux

Le positionnement des stations lors de suivi pré et post-travaux doit rester **strictement identique** pour toutes les stations du suivi.

Suivi à l'échelle de la station

Dans le cas de la modification de la géométrie du lit, le suivi doit être identique sur toutes les stations **Témoins** et **Restaurée** : mêmes compartiments suivis via les mêmes protocoles et à la même période de prélèvement à chaque campagne. Pour les conditions de prélèvement, se référer aux parties *Points de prélèvement* et *Chronologie des suivis*.

Compartiment hydromorphologique

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la modification de la géométrie du lit (modification des lits mineur et d'étiage, évolution des berges).

Protocole de prélèvement :

- **Carhyce (obligatoire)** - (protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied) [19]. Le suivi doit être réalisé en se référant strictement au protocole et à la *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*.

Compartiment biologique

Objectifs - Suivre l'évolution des peuplements avant-après modification de la géométrie du lit, liée à la diversification des habitats et à la modification des niveaux d'eau. Pour les diatomées, suivre l'évolution des peuplements en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau et du fonctionnement hydrologique le cas échéant. Pour les macrophytes, suivre l'évolution des peuplements en lien avec la modification des berges et la diversification des écoulements.

Protocoles de prélèvement :

- **poissons (recommandé)** - pêche complète deux passages ou pêche par point selon largeur/profondeur du cours d'eau (se référer à la *Fiche 2 [Faune piscicole]* et au *Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons [20]*) ;
- **invertébrés (recommandé)** - protocole de prélèvement des macro-invertébrés (se référer à la *Fiche 3 [Macro-invertébrés benthiques]*, aux normes *NF T90-333* et *XP T90-388* et aux guides d'applications *FD T90-733* et *GA T90-788*, avec un tri sans regroupement au laboratoire) ;

A minima un de ces deux compartiments sera suivi de manière systématique.

- **macrophytes (facultatif)** - protocole IBMR (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-395*);
- **diatomées (facultatif)** - protocole IBD (se référer à la *Fiche 4* et à la norme *NF T90-354*).

Compartiment physico-chimique

Objectifs - Suivre l'évolution de la physico-chimie, détecter des perturbations éventuelles.

Paramètres mesurés :

- **mesures *in situ*** (obligatoire) : température, pH, conductivité, oxygène dissous ;
- **mesures physico-chimiques** sur paramètres classiques (obligatoire) : turbidité et paramètres liés à l'azote, au phosphore, au carbone organique ;
- **facultatif** : si des enjeux spécifiques liés à l'eutrophisation ou à des substances spécifiques sont identifiés, paramètres complémentaires : paramètres de l'eutrophisation, ions majeurs, métaux, pesticides...

Se référer à la *Fiche 6 [Physico-chimie]*.

Paramètre température

Objectifs - Suivre l'évolution de la température, en lien avec la modification de la hauteur d'eau et la diversification des écoulements.

- Suivi à l'aide de sondes enregistreuses en continu. Se référer à la *Fiche 5 [Température]*.

Positionnement des points de prélèvement sur la station

Se référer au chapitre *Points de prélèvement*.

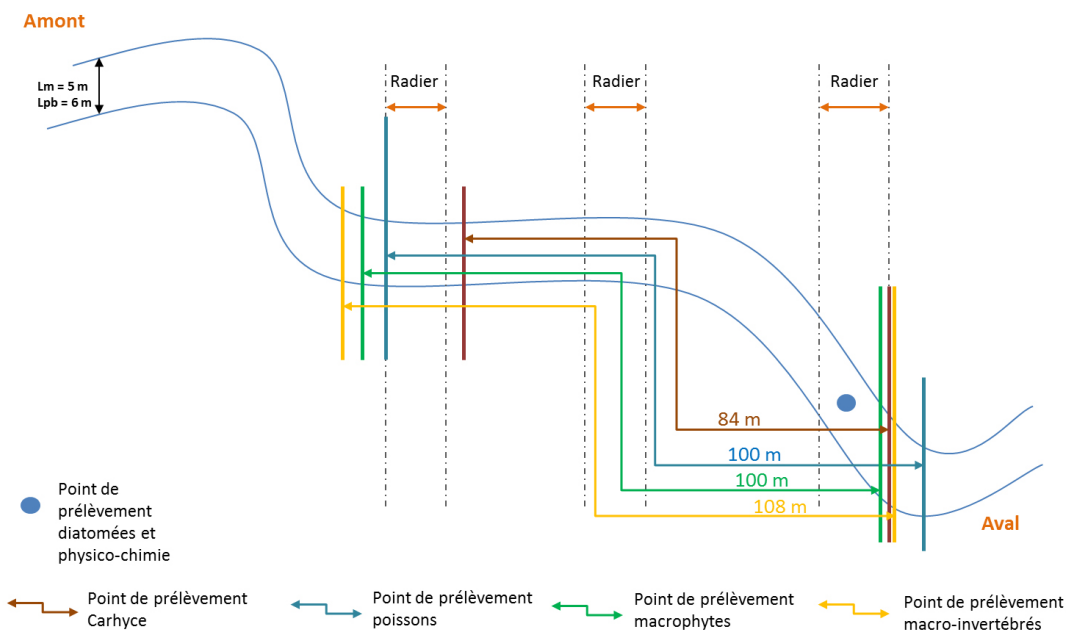


Figure 43 - Positionnement des points de prélèvements par rapport à la configuration de la station. Exemple avec un cours d'eau de largeur mouillée $L_m = 5$ m et largeur pleins bords $L_{pb} = 6$ m. Les points de prélèvements sont tous définis par la limite aval (suivant le point de prélèvement Carhyce) pouvant être légèrement ajustée pour les pêches.

Suivi à l'échelle linéaire et associé

Suivi photo (obligatoire)

Objectif - Suivre l'évolution du paysage avant-après modification de la géométrie du lit en s'assurant de prendre des points de repères et de conserver le même positionnement au fil du temps. Suivre l'évolution visuelle des berges, du lit d'étiage et du lit mineur.

Réalisation de photos du site, du cours d'eau, du fond de vallée (se référer à la *Fiche 7 [Photos]*) ;

Suivi faciès et profil en long (obligatoire)

Objectif - Suivre les évolutions apportées par la modification de la géométrie du lit (modification des lits mineur et d'étiage, évolution des processus d'érosion/dépôt).

Relevé de faciès et profil en long (se référer à la *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) ;

Suivi de l'hydrologie (obligatoire)

Objectif - Connaître le fonctionnement hydrologique du tronçon, facteur explicatif des peuplements, de la morphologie et de la physico-chimie observés lors des suivis, évaluer les évolutions avant-après travaux et notamment la fréquence et les caractéristiques des débordements.

Se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* ;

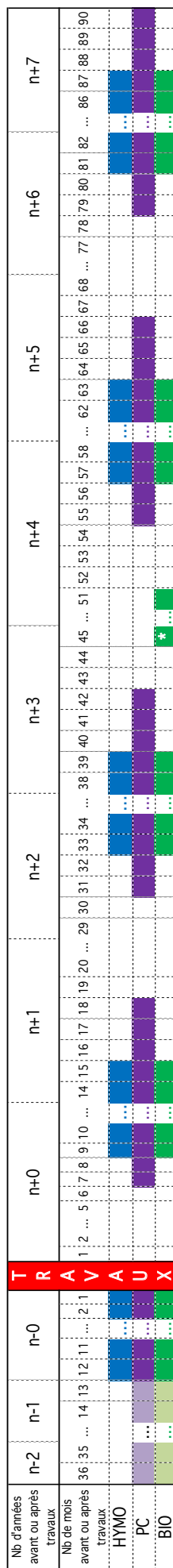
Suivi des connexions avec la nappe (si enjeu)

Objectif - Suivre l'évolution de la nappe et des connexions nappe-rivière en lien avec la modification de la géométrie du lit, notamment avec la modification des niveaux d'eau.

Se référer à la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*.

Organisation générale des campagnes de prélèvements

Les suivis doivent être réalisés dans la mesure du possible de manière synchrone aux deux échelles du suivi et sur toutes les stations. Ils seront mis en œuvre annuellement pendant trois ans avant travaux si possible, et obligatoirement l'année précédant les travaux (Figure 44). Après restauration, ils seront réalisés entre 9 et 15 mois suivant les travaux, puis une année sur deux pendant au moins 7 ans après travaux. Un suivi photo pendant la phase travaux pourra également être conduit pour en visualiser les étapes.

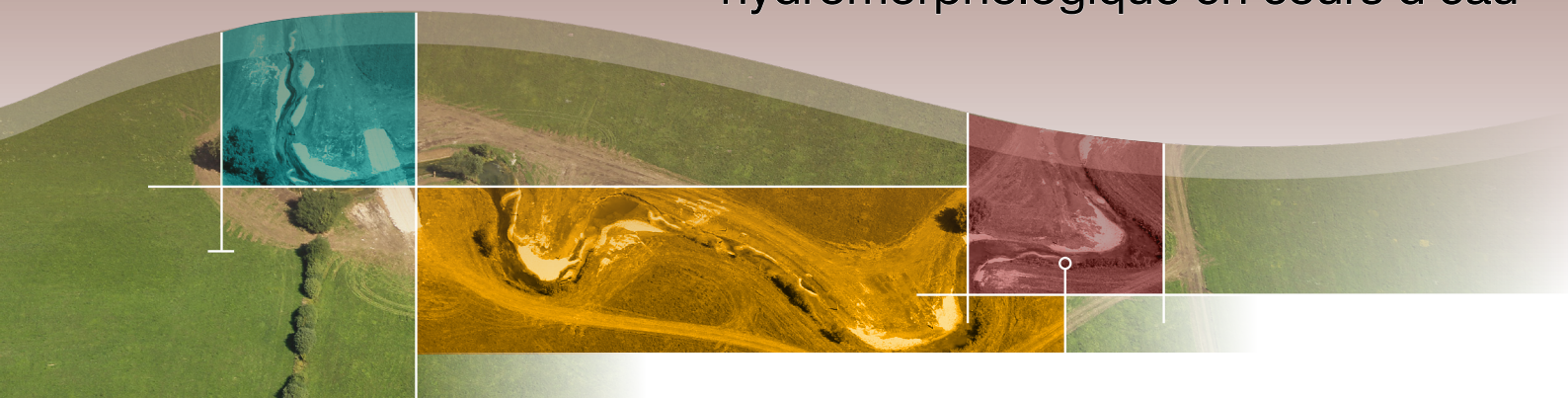


■ Le suivi à réaliser dans tous les cas. ■ Le suivi à réaliser si possible deux à trois ans avant travaux.
 - Les chiffres indiqués (années en « n- » ou « n+ », mois) correspondent au nombre d'années ou de mois avant ou après les travaux.
 HYMO : Hydromorphologie, PC : Physico-chimie, BIO : Biologie, * : suivi piscicole uniquement.

Figure 44 - Programmation du suivi scientifique minimal. En clair, les prélèvements à réaliser dans tous les cas. Voir la partie Chronologie des suivis pour le détail.

Fiches suivis

Guide pour l'élaboration de suivis
d'opérations de restauration
hydromorphologique en cours d'eau



Fiche 01 Hydromorphologie (échelle station)	91
Fiche 02 Faune piscicole.....	97
Fiche 03 Macro-invertébrés benthiques	101
Fiche 04 Autres compartiments biologiques.....	103
Fiche 05 Température	105
Fiche 06 Physico-chimie.....	113
Fiche 07 Photos.....	121
Fiche 08 Profil en long et faciès d'écoulements	133
Fiche 09 Hydrologie	141
Fiche 10 Connexions avec la nappe.....	167
Fiche 11 Fiche reconnaissance terrain.....	173
Fiche 12 Exemple de fiche pour un site de restauration	175

Protocole à mettre en œuvre

- Carhyce : protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied [19].

Fichiers de saisie et bancarisation

Saisir les données sur la fiche spécifique Carhyce proposée dans le guide technique y afférent [19], puis bancariser les données dans l'application Carhyce-Web (voir aussi *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*).

Éléments d'interprétation

Présentation de l'interface IED

<http://www.lgp.cnrs.fr/carhyce/>

Le diagnostic hydromorphologique, à l'échelle stationnelle, peut s'appuyer sur l'interface web d'exploitation des données (« IED Carhyce »)³⁰, mise en place par le CNRS, qui permet un accès simplifié aux données et résultats (travaux de Tamisier *et al.*, 2017)[30]. Cette interface exploite les données issues des relevés Carhyce.

Pour chaque station caractérisée via le protocole de terrain Carhyce, l'IED se propose de fournir un cadre diagnostique local et régional appuyant la gestion, le suivi et l'évaluation du cours d'eau. Pour cela, l'interface met à disposition, pour chaque station, plusieurs dizaines de caractéristiques hydromorphologiques calculées, dont certaines sont confrontées à différents modèles d'évaluation de l'hydromorphologie.

Sont ainsi accessibles sur l'IED :

- 1) les données collectées permettant de rendre compte de la topographie de la station et de calculer divers paramètres, indices ou indicateurs hydromorphologiques, notamment : largeurs ou profondeurs moyennes/maximales à pleins bords, rapport largeur/profondeur en lien avec la surface du bassin versant, indices granulométriques, indices sur la ripisylve, indices représentatifs du type d'écoulement, de la rugosité ou encore calcul de pente topographique, etc ;
- 2) des données complémentaires, notamment géographiques, introduites pour permettre la prise en compte des caractéristiques descriptives du bassin versant (par exemple, sa surface) ou les spécificités éco-régionales (par exemple, les hydroécotopes représentatives de secteurs homogènes en matière de climat, de géologie et de relief) ;
- 3) une série de modèles de références régionaux, au sens du fonctionnement hydromorphologique, construits à partir d'un jeu de stations présentant peu voire pas de pressions en lien avec les activités humaines ;
- 4) la situation de la station testée et caractérisée avec le protocole par rapport aux références régionales, aux modèles et aux données présentées ci-dessus, paramètre par paramètre ou de manière globale grâce notamment à un indice global de morphologie (IMG) ; l'ensemble étant présenté sous forme de diagrammes, de courbes cumulées, etc.

³⁰ Interface développée en collaboration entre les laboratoires de géographie physique (LGP) et « dynamiques sociales et recomposition des espaces » (LADYSS) du CNRS, « géomatique et foncier » (GEF) du CNAM-ESGT, et l'Agence française pour la biodiversité (AFB). Cette interface est à ce jour une version-prototype.

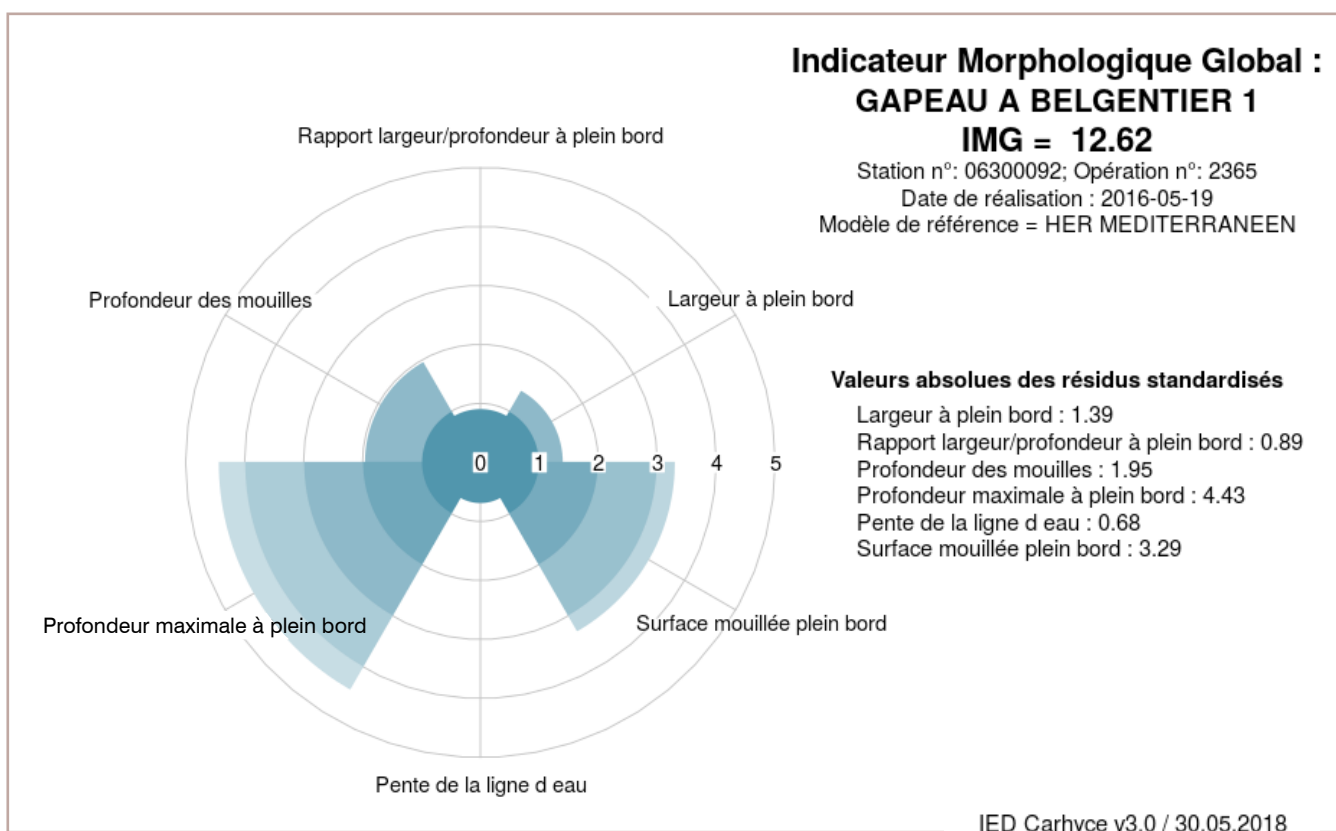
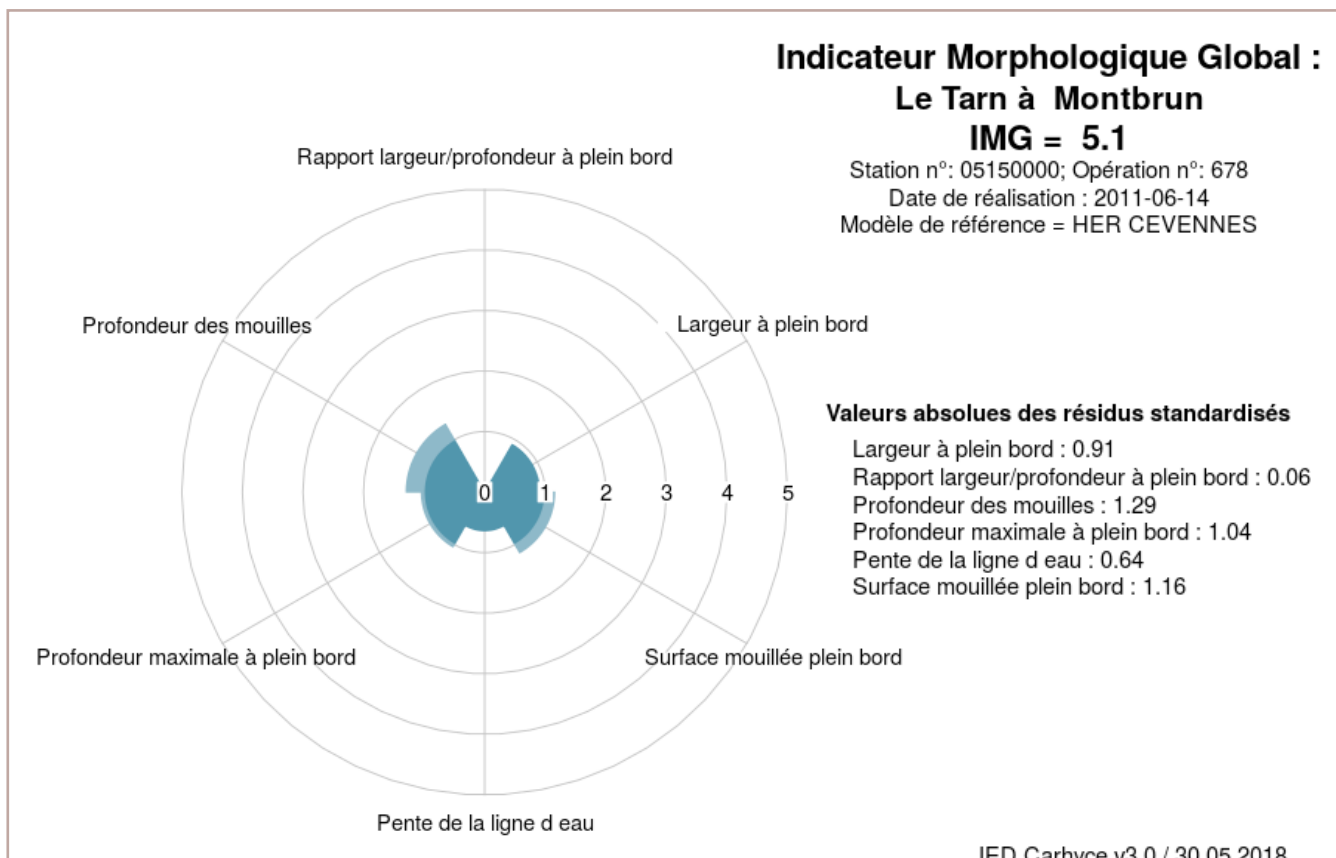


Figure 45 - Représentations graphiques de l'Indicateur morphologique global (IMG) de deux opérations : le Tarn à Montbrun (2011) et le Gapeau à Belgentier (2016) [30]. Plus la projection sur les axes est réduite et centrée sur 0 (zéro), plus l'indicateur est faible pour les 6 paramètres qui le composent ; alors la situation supposée de la station est proche des tendances naturelles (sans ou avec peu de pressions liées aux activités humaines) régionales.

Remarque

D'une manière générale, la restauration hydromorphologique vise à minimiser l'écart observé entre une situation dégradée et une situation naturelle telle qu'elle aurait dû être en l'absence de pression anthropique, en termes de morphologie (ici appréhendée par les modèles de référence). L'interprétation s'appuiera donc ici sur l'analyse de l'évolution des écarts aux références régionales pour les différentes caractéristiques hydromorphologiques. Comme tout indicateur, ces éléments doivent être considérés avec attention et ne doivent pas aboutir à une uniformisation des cours d'eau ou à la normalisation de la forme de leur lit. Ils ne doivent donc pas être utilisés comme des abaques sur lequel s'appuyer systématiquement pour dessiner les lits des rivières à restaurer ; ceux-ci seraient alors « calibrés » selon un modèle unique quand la diversité des contextes impliquerait une diversité des formes. Ils peuvent au mieux donner une image des gammes de dimensionnement de cours d'eau en situation naturelle et dans des contextes donnés présents au niveau régional utile, par exemple, si aucune station étalon n'a pu être définie en référence pour la restauration. L'opérateur restera donc vigilant et gardera un sens critique dans l'analyse des résultats ainsi que dans les propositions qu'il formulera.

Exemple d'interprétation

Des exemples de résultats et d'application de ces indicateurs sont présentés dans Tamisier *et al.* (2017)[30]. Repris de ce document, l'exemple du suivi du reméandrage de la Veyre dans le Puy de Dôme est présenté ici.

Contexte

Diagnostic pré-travaux

- Rectification du tracé dans les années 70-80 (1100m)

Objectifs de la restauration

- Restaurer un fonctionnement hydromorphologique naturel
- Améliorer la qualité de l'eau
- Créer des connexions latérales (zones humides)
- Recréer des zones d'expansion de crues

Les travaux de restauration (sept. 2010 – avr. 2011)

- Reprise des anciens méandres (500 mètres de linéaire recréé)
- Recharges sédimentaires ponctuelles
- Plantation de ripisylve

Pour le suivi de cette restauration qui a eu lieu entre septembre 2010 et avril 2011, quatre relevés d'observations Carhyce sont à disposition : l'un réalisé en 2010, avant le début des travaux ; les trois autres mis en œuvre suite aux travaux en 2011, 2012 et 2013.

Sur la Figure 46, les photographies avant-après montrent les changements apportés par la restauration qui transforme un lit étroit et rectiligne en un cours sinueux et élargi. L'indicateur morphologique global de Carhyce de l'opération réalisée en pré-travaux (IMG = 15,36) confirme qu'avant cette restauration, le lit de la Veyre ne correspond pas aux références régionales. On observe effectivement alors un lit bien moins large qu'attendu pour cette taille de bassin et cette région (HER *Massif central sud*).

En 2011, peu de temps après les travaux, si l'IMG demeure élevé (13,34) et le lit plus large qu'attendu, les travaux ont tout de même permis de faire tendre la géométrie du lit vers les standards régionaux. Il est alors intéressant de remarquer qu'une fois les travaux terminés, la rivière continue à évoluer et à ajuster son lit. Les relevés indiquent en effet que le lit s'élargit progressivement d'une largeur à pleins bords de 2,6 m juste après travaux à plus de 3 m deux ans après.



Figure 46 - Suivi de l'évolution du lit de la Veyre à partir de photographies et des indicateurs morphologiques globaux (IMG) de Carhyce. Les photos sont issues de la fiche sur la Veyre dans le classeur des retours d'expériences sur l'hydromorphologie de l'AFB [29].

La taille des matériaux qui composent le lit a également évolué (Figure 47). Suite aux recharges sédimentaires ponctuelles effectuées lors de l'opération de restauration, le radier sur lequel la granulométrie a été relevée a vu le diamètre médian de ses particules augmenter de 6 à 12 mm.

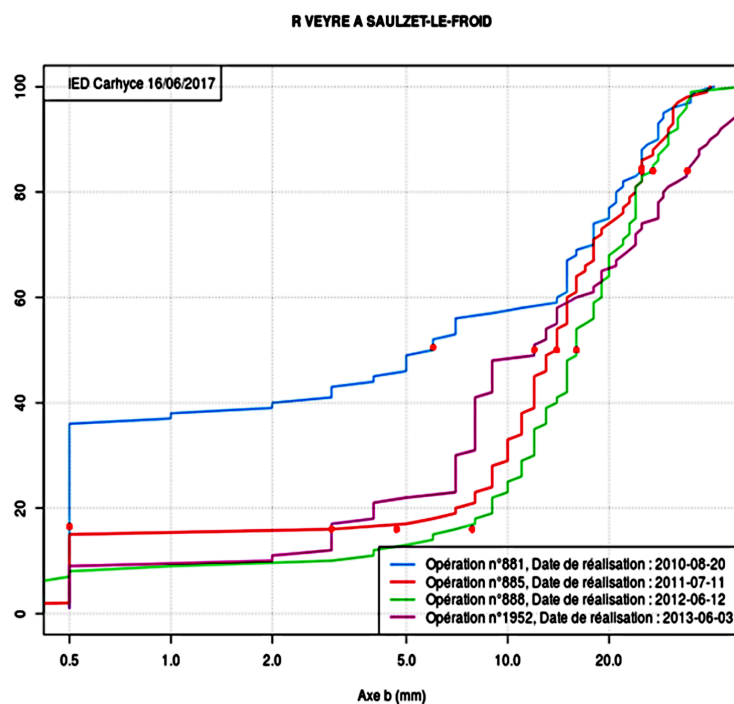
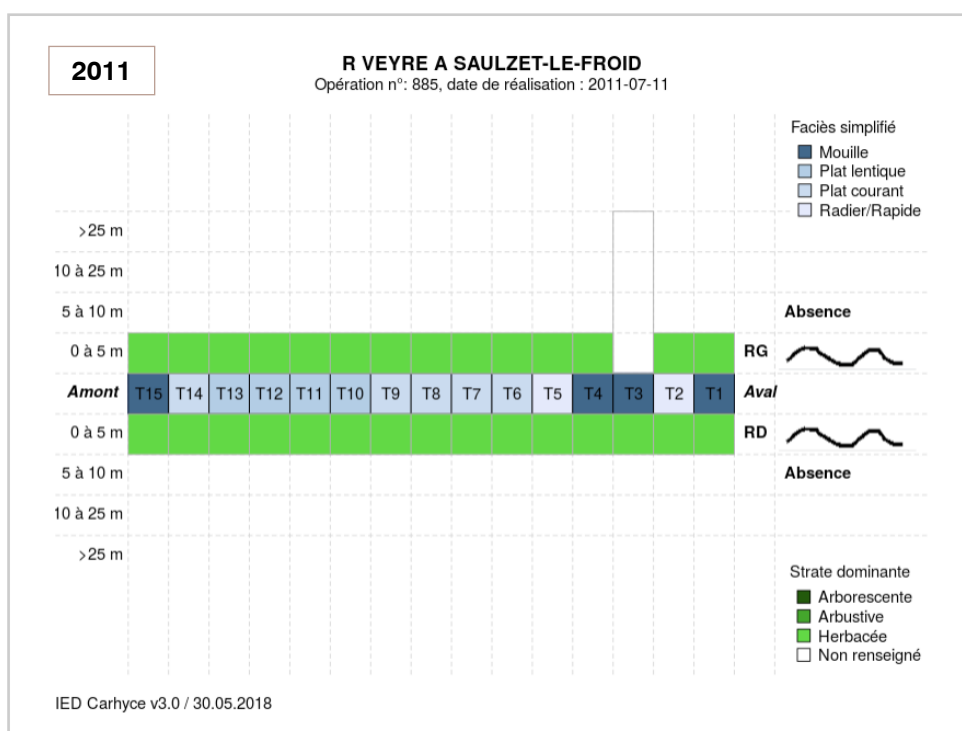
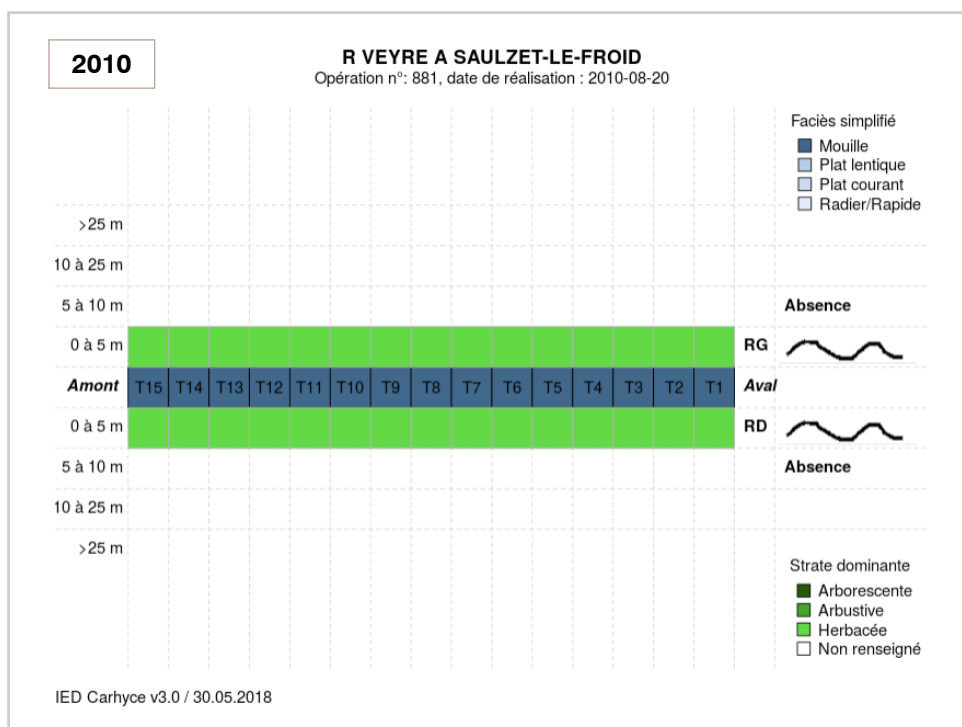


Figure 47 - Évolution de la taille du substrat de la Veyre avant et après restauration. Les points rouges correspondent aux valeurs de D16, D50 (diamètre médian) et D84 - valeurs de références granulométriques - qui expriment respectivement la part (16 %, 50 %, 84 %) de l'échantillon dont la taille (en mm) est inférieure à la valeur en abscisses.

Enfin, si l'effet du reboisement de la ripisylve ne commence à être réellement visible qu'à partir de 2013, dès 2011 les faciès d'écoulement se sont, eux, fortement diversifiés (Figure 48 ci-dessous et page suivante) pour offrir une diversité d'habitats plus favorable aux communautés biologiques. Ainsi, avant travaux, le chenal ne correspondait qu'à une longue mouille avec très peu de variations de profondeur quand, en 2013, il se voit alterner des radiers et des mouilles (jusqu'à un mètre de profondeur) sur toute la longueur de la station.



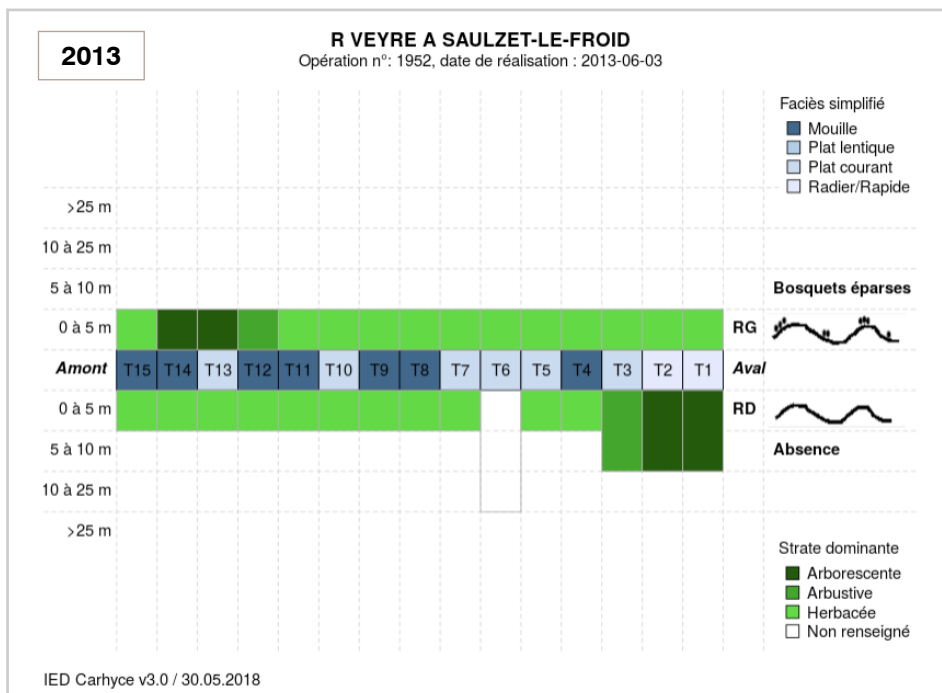
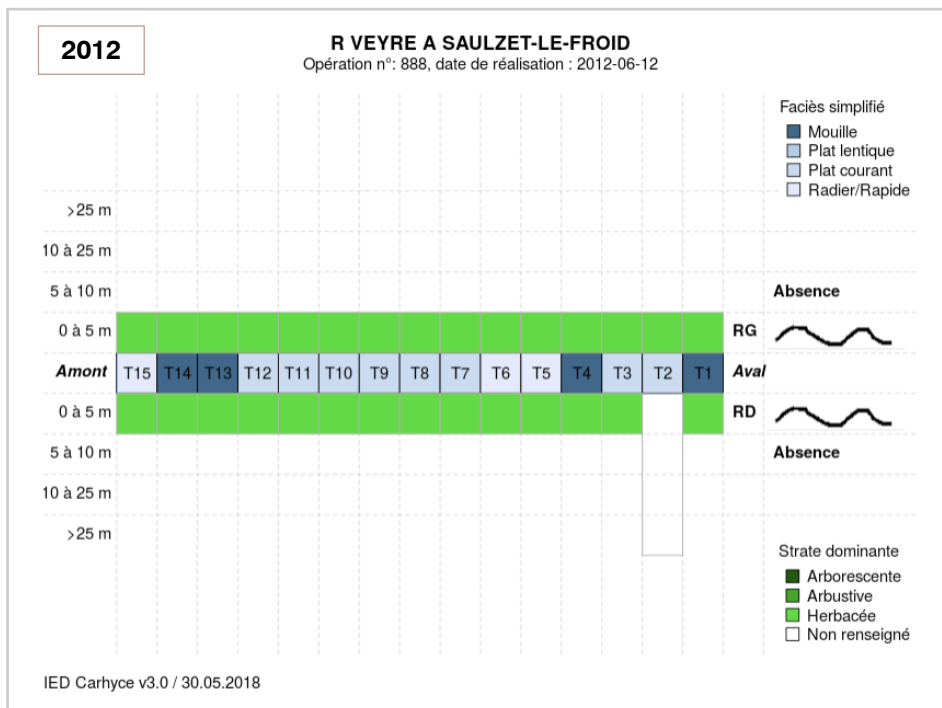


Figure 48 - Représentation schématique de l'évolution de la ripisylve et des faciès d'écoulement de la Veyre avant et après restauration.

Bibliographie spécifique

- Baudoin, Jean-Marc, et al., 2017. *Carhyce. Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied*. Guides et protocoles. Agence française pour la biodiversité. 56 pages.
- Onema, MEEDDM, et Agences de l'eau, 2010. *La restauration des cours d'eau - Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie*.
- Tamisier, Vincent, Frédéric Gob, Clélia Bilodeau, et Nathalie Thommeret, 2017. *Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français (Carhyce). Valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau*. Rapport scientifique CNRS (LGP-LADYSS)/Université de Paris Panthéon-Sorbonne/ESGT/AFB.142 pages.

Protocole de pêche

Pêche complète

Le protocole à préférer dans tous les cas où sa mise en œuvre est possible est une pêche complète à **deux passages** (selon guide d'application [20]). Trois passages sont préconisés dans les cas suivants :

- nouvelles espèces/effectifs capturés supérieurs au second passage ;
- difficultés de prospection de la station (blocs, radiers larges et/ou rapides et/ou profonds) ;
- présence d'espèces à faible efficacité de capture en proportions non négligeables (par exemple espèces benthiques comme la loche franche ou petites espèces grégaires comme le vairon).

Dans le cas d'un troisième passage, il est nécessaire d'avoir le matériel de stabulation *ad hoc*. Dans le cas d'espèces d'intérêt particulier, notamment benthiques comme les loches ou le chabot, un suivi optionnel sur un secteur plus restreint (habitat préférentiel) peut être réalisé, de même qu'un suivi au-delà de l'échelle stationnelle, selon les objectifs.

Limites d'application du protocole

En limite d'application du protocole (largeur trop importante - la valeur seuil pour les réseaux de suivi est de 9 m - , profondeur > 1m, vitesse élevée), on privilégiera une pêche par point (type DCE grands milieux peu profonds, voir guide d'application [20]).

Dans tous les cas, on s'attachera à inscrire le suivi dans la durée, en s'assurant que les ressources disponibles seront suffisantes pour la méthode choisie et ce, sur toute la chronique.

Le protocole de pêche par point permet au besoin de réaliser des points complémentaires sur des habitats particuliers s'ils ne sont pas échantillonnés lors de la réalisation du sous-échantillon « représentatif » (75 à 100 premiers points répartis suivant un échantillonnage dit systématique [20]).

Cas particulier des effacements d'ouvrage

Dans la retenue/le remous de l'ouvrage, on préconise des pêches électriques par point de type grands milieux. Selon la profondeur du chenal, la pêche se fera sur l'intégralité de la largeur ou sur les bandes rivulaires. Facultativement, une pose de filets ou verveux peut être envisagée en cas de recherche d'espèces benthiques de la zone profonde (comme la lote ou l'anguille) ou faiblement capturables à l'électricité (comme le sandre).

Biométrie : pesée des individus capturés

Le poids des individus pêchés est une des composantes des analyses (estimation des biomasses). Pour les modalités d'obtention de ces poids, deux possibilités :

- si des abaques tailles/poids **locaux** et **robustes** existent, il est possible de les utiliser et de ne pas peser les individus (à éviter donc pour les espèces dites « rares » ou celles pour lesquelles les courbes ne sont pas fiables), sauf si des objectifs spécifiques l'exigent ;
- sinon, il est nécessaire de mesurer les poids des individus de chaque pêche, avec une possibilité de faire des lots pour les juvéniles.

Remarque

Concernant la biométrie par lots applicables aux pêches électriques, seuls les lots I et les lots S/L seront acceptés (Pas de lot G), et suivant les préconisations du guide, à savoir notamment :

- des lots seront mis en place « pour les taxons dont les effectifs sont importants (généralement plusieurs centaines d'individus) et en particulier pour les petits individus » [20] ;
- pour les lots S/L, « une amplitude maximale de tailles de 20 à 30 mm environ pour les « petits » est souhaitable tandis qu'elle peut atteindre 50 mm pour les plus grands » [20].

Suivi des migrateurs et espèces-cibles

Un suivi spécifique peut être mis en place pour le suivi d'une ou plusieurs espèces en particulier, le cas échéant, en complément des pêches complètes et/ou sur les stations de type *Échelle étendue*. Ces suivis complémentaires ont plusieurs objectifs :

- visualiser le front de migration et les déplacements des espèces ;
- quantifier la reproduction et visualiser les classes d'âges sur des zones propices au niveau du bassin versant ;
- mieux détecter les espèces peu capturées par la pêche électrique complète (anguilles, lamproies notamment).

Les suivis qui seront mis en place seront donc, selon les objectifs :

- pour les salmonidés, la **pêche sur radiers** (réalisation de « traits »), ainsi que le suivi de frayères (repérage visuel des « nids ») ;
- pour les **truites**, le protocole Vigitruite® développé par l'Inra ;
- pour les **saumons**, le protocole permettant de calculer l'indice d'abondance de juvéniles de saumons [31] ;
- pour les **anguilles**, le protocole permettant de calculer l'indice d'abondance anguilles [32] ;
- pour les **lamproies**, la méthodologie d'échantillonnage des ammocètes [33] ;
- pour les **aloses**, un comptage des « bulls » peut être mis en place. Des exemples de suivis sont décrits pages 121 et suivantes et 133 et suivantes du rapport LOGRAMI 2014 [34].

D'autres méthodes, comme les nouvelles méthodes d'ADN environnemental [35] ou les stations de comptage des migrateurs via le suivi vidéo de passes sur le bassin versant [36, 37], peuvent également être mises en place. Dans le cas de problématiques migrateurs concernant plusieurs espèces, des pêches complètes peuvent également être réalisées sur les stations *Échelle étendue*. La fréquence (tous les un ou deux ans) et la durée de ces suivis spécifiques seront à adapter en fonction des potentiels de colonisation et du retour effectif des espèces visées.

Fichiers de saisie

Les fichiers de saisie relatifs aux informations sur le point de prélèvement et aux données issues des pêches sont fournis sous la forme d'un fichier Excel en annexe du guide. Chaque opération de pêche devra être saisie via ce format, compatible Aspe (voir *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*).

Éléments d'interprétation

La diagnose des peuplements de poissons se base notamment sur le calcul et l'analyse des abondances et biomasses des différentes espèces et/ou guildes écologiques, les analyses de structure en classes de taille/âge des principales espèces, les indices de diversité et de richesse des peuplements ainsi que les indicateurs DCE (IPR, IPR+ [20bis], [20ter]) et leurs métriques élémentaires.

Ces calculs et analyses sont réalisables dès lors que le protocole de pêche recommandé a été mis en place (pêche complète deux passages). Attention, si la pêche a été réalisée par point, les calculs de densité ne sont pas possibles.

Exemple 1 - Projet de reconstitution du matelas alluvial

Le suivi des espèces lithophiles apparaît comme l'une des métriques à suivre. Dans le cas de cours d'eau salmonicoles à faible richesse spécifique, le suivi de la dynamique de population de ces espèces peut fournir des informations pertinentes sur la qualité et la stabilité du substrat rapporté. La métrique « juvéniles de truite » de l'IPR+ apparaît également particulièrement pertinente.

Exemple 2 - Projet d'effacement d'ouvrage

Dans la retenue, le glissement de la population des taxons de milieux lenticques vers des taxons rhéophiles et l'arrivée d'espèces depuis l'aval sont classiquement recherchés.

Deux autres éléments peuvent être suivis plus spécifiquement, mais nécessitent d'avoir auparavant complété la phase terrain en conséquence :

- le suivi du coefficient de condition de Fulton (nécessitant d'avoir pris précisément les poids associés aux longueurs de chaque individu) ; ce coefficient permet de connaître la condition physiologique des poissons en étudiant les relations taille-poids par rapport aux données de référence par espèce.
- le suivi de l'état sanitaire des individus (nécessitant d'avoir mis en place un protocole adapté sur le terrain, par exemple en suivant la méthodologie des « codes pathologie » développée par l'Association santé poissons sauvages [38], basée notamment sur les travaux de Karr *et al.* [39]). Ce suivi permet, d'après le pourcentage d'individus présentant des pathologies, de savoir si le peuplement de poissons présente un état sanitaire préoccupant. Il permet également d'en déduire un indicateur de la qualité du milieu.

Bibliographie spécifique

20. Belliard, Jérôme, Jean-Maxence Ditche, Nicolas Roset, et Samuel Dembski, 2012. *Guide pratique de mise en oeuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons.*
- 20bis. AFNOR, 2011. *NF T90-344 - Qualité de l'eau - Détermination de l'indice poissons rivière (IPR).*
- 20ter. Pont, Didier, Olivier Delaigue, Jérôme Belliard, Anahita Marzin, et Maxime Logez, 2013. *Programme IPR+. Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE.* Partenariat Irstea - Onema.
31. Bretagne Grands Migrateurs, 2013. *Description du protocole de pêche selon la méthode des indices d'abondance de juvéniles de saumon.* 8 pages.
32. Bretagne Grands Migrateurs, 2009. *Méthode de pêche électrique par échantillonnage par point au Martin Pêcheur « indice d'abondance anguille ».*
33. Bretagne Grands Migrateurs, 2012. *Méthodologie d'échantillonnage des ammocètes.*
34. Bach, Jean-Michel, *et al.*, 2015. *Recueil de données biologiques 2014 sur les poissons migrants du bassin Loire, rapport d'activité.* Association LOGRAMI - Loire Grands Migrateurs. 291 pages.
35. Civade, Raphaël, *et al.*, 2016. *Spatial Representativeness of Environmental DNA*

Metabarcoding Signal for Fish Biodiversity Assessment in a Natural Freshwater System. PLOS ONE, 11(6): p. e0157366.

36. Abdallah, Y., D. Rivoallan, et I. Lebel, 2016. *Suivi vidéo des passages de poissons migrateurs dans la passe à poissons de Bladier-Ricard sur le fleuve Hérault. Campagne 2016.* Association MRM, FDPPMA Hérault. 32 pages + annexes.

37. FDPPMA 62, 2017. *Dispositif de comptage des Grands Salmonidés Migrateurs, Riverwatcher d'Auchy-lès-Hesdin, résultats 2017.* Fédération du Pas-de-Calais pour la pêche et la protection du milieu aquatique. 26 pages.

38. Élie, Pierre et Patrick Girard, 2014. *L'Etat de santé des poissons sauvages : les Codes pathologie, un outil d'évaluation.* Association Santé Poissons sauvages.

39. Karr, James R, Kurt D Fausch, Paul L Angermeier, Philip R Yant, et Isaac J Schlosser, 1986. *Assessing biological integrity in running waters. A method and its rationale.* Illinois Natural History Survey, (Special Publication 5).

Protocole de suivi

- Se référer à la norme *NF T90-333* [21] et au guide d'application *FD T90-733* [22] pour le terrain ; à la norme expérimentale *XP T90-388* [40] et au guide d'application *GA T90-788* [41] pour le laboratoire, avec un tri **sans regroupement par phase** (déterminer séparément les 12 prélèvements unitaires).

Fichiers de saisie

<https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/310>

Les opérations réalisées devront être saisies sur les fiches de comptes rendus standardisées pour le suivi des macro-invertébrés en cours d'eau (fichiers Excel disponibles au [lien ci-contre](#)), pour la partie terrain et la partie détermination au laboratoire (onglets fiche terrain et onglet saisie respectivement).

Éléments d'interprétation

La diagnose des peuplements d'invertébrés sera suivie en premier lieu par le calcul des indices IBG-DCE et I2M2 [41bis] puis complétée par les métriques élémentaires de l'I2M2 (diversité de Shannon, fréquence relative des espèces ovovivipares, fréquence relative des espèces polyvoltines, ASPT [*Average Score Per Taxon*] et richesse taxonomique).

On pourra ensuite suivre l'évolution de la richesse et de l'abondance des différents ordres (notamment Éphémères, Trichoptères, Plécoptères), ainsi que l'évolution des traits biologiques des peuplements (proportion des rhéophiles, des lithophiles, évolution du régime alimentaire...).

Par ailleurs, l'opérateur pourra également utiliser les résultats fournis par les modèles « risque d'altération hydrologique » et « risque de colmatage » de l'outil de diagnostic associé à l'I2M2 [42]³¹. L'examen de la réponse des métriques élémentaires de l'I2M2 au cours du suivi de la restauration peut également être proposé (voir, à titre d'exemple, les métriques bio/écologiques proposées dans l'exemple 1 ci-dessous).

Exemple 1 - Projet de reconstitution du matelas alluvial

Diverses métriques de l'outil de diagnostic pouvant contribuer à identifier un risque de colmatage seront étudiées (par exemple, les fréquences relatives du « stade adulte aquatique », d'un « mode de dissémination aquatique, passif », d'organismes préférant l'étage du « métapotamon » ou les « cours d'eau de plaine »).

Exemple 2 - Projet de reméandrage

Les métriques/traits relatifs à l'augmentation de l'hétérogénéité de l'habitat seront particulièrement étudiés (augmentation de la diversité, apparition de taxons exigeants sur la qualité de l'habitat, etc.)

³¹ Outil de « diagnostic » associé à l'I2M2 : fondé sur une combinaison de métriques bio/écologiques, cet outil évalue un risque d'altération de la communauté d'invertébrés par différentes pressions anthropiques (chimiques et hydromorphologiques). Même si les modèles sous-jacents n'ont pas été spécifiquement conçus pour répondre aux types de restauration hydromorphologique ciblés dans le cadre du SSM, on peut attendre de leur part une réponse mesurable, par modification des fréquences relatives de sélection de certaines caractéristiques biologiques des communautés, dans le secteur restauré et éventuellement à l'aval de celui-ci.

Protocoles de suivi

- Diatomées - Se référer à la norme *NF T90-354* [23].
- Macrophytes - Se référer à la norme *NF T90-395* [24].
- Oligochètes - Se référer à la norme *NF T90-393* [25].

Fichiers de saisie

Les opérations réalisées devront être saisies sur les fiches de comptes rendus standardisées :

<https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/310>

<https://hydrobio-dce.irstea.fr/telecharger/macrophytes-rivieres-2/>

- pour le suivi des diatomées, fichiers à télécharger (voir lien ci-contre) ; fichier Excel « échange soutien bio » pour le terrain, fichier texte « échange liste », compatible Omnidia pour la détermination au laboratoire ;
- pour le suivi des macrophytes, fichiers à télécharger (voir lien ci-contre) ; soit via les fichiers « échange soutien bio » pour le terrain et « échange listes » pour la liste floristique, soit via l'application *Alisma* ;
- pour les oligochètes, fichier exemple de compte rendu disponible en annexe (dans le cadre du marché Agence de l'eau Rhin-Meuse).

Éléments d'interprétation

La diagnose des communautés floristiques et faunistiques se fera en premier lieu par le calcul des indicateurs d'évaluation (IBD, IBMR, IOBS).

On pourra dans un second temps suivre l'évolution des communautés (richesse et diversité des assemblages, dominances, sténoécie et sensibilité spécifique des taxons...).

Plus spécifiquement pour les diatomées, un modèle « risque de colmatage » a été élaboré dans l'outil de diagnostic des cours d'eau peu profonds, basé sur le compartiment diatomées benthiques, comme pour le compartiment invertébrés benthiques [43]³². Les résultats de ce modèle et son évolution pourront être étudiés.

Remarque

Des indicateurs précoces de la résilience des milieux, non détaillés ici, peuvent également s'avérer pertinents à pas de temps plus court (une année avant travaux, et une à deux années consécutives après travaux). Il s'agit des indicateurs de fonctionnement de type « sac à litière », « bandelettes de coton » [44].

³² Modèle « risque de colmatage » de l'outil de diagnostic basé sur les diatomées : fondé sur une combinaison de métriques taxonomiques et bioécologiques spécifiques, ce modèle pourra être utilisé par l'opérateur. Même s'il n'a pas été spécifiquement conçu pour répondre aux types de restauration hydromorphologique ciblés dans le cadre du SSM, on peut attendre de sa part une réponse mesurable, par modification des proportions de certains taxons et des fréquences relatives d'utilisation de certaines caractéristiques biologiques des communautés, dans le secteur restauré et éventuellement à l'aval de celui-ci.

Objectifs

- Suivre l'évolution de la température par station, sur les stations du suivi, sur la chronique du suivi et pouvoir comparer les chroniques de température entre elles et avant/après restauration.
- Bancariser les chroniques obtenues afin d'assurer leur pérennité et d'en faciliter l'analyse.

Matériel de mesure

Différents dispositifs de mesure de la température de l'eau sont disponibles, depuis l'enregistreur autonome jusqu'à la station de mesure avec télétransmission.

Quel que soit le dispositif retenu, le capteur doit pouvoir rester immergé à demeure pour permettre un suivi en continu selon un **pas de temps de mesure au moins horaire**.

Remarque

Sauf si le logiciel prend explicitement en charge les conversions d'horaires, l'horloge interne des capteurs doit être réglée selon le Temps universel coordonné (UTC) et non pas selon l'heure locale, ce qui peut créer des problèmes lors des passages heure d'été/heure d'hiver.

La **précision du capteur doit être si possible de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$** entre 0° et $+50^{\circ}\text{C}$, et a minima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Remarque

Les capteurs, quel que soit leur type, sont soumis au phénomène de dérive instrumentale. Au cours de leur utilisation, la valeur de température mesurée par la sonde dans le milieu a tendance à s'éloigner de plus en plus de la valeur exacte de température du milieu. La fiabilité de la mesure étant essentielle pour la mise en place d'un suivi thermique, il convient de contrôler à chaque visite de terrain la dérive instrumentale afin de remplacer l'appareil de mesure ou d'apporter un facteur correctif avant l'exploitation des données. Pour cela, on procédera, si possible, comme préconisé page 108 du guide rédigé par Rebière et al. (2018)[45], en réalisant des contrôles avec un enregistreur neuf lors des visites de terrain. En cas d'impossibilité, réaliser des mesures de température (sonde multiparamètres in situ par exemple) à chaque visite de terrain et les comparer aux données déchargées.

Mise en œuvre du suivi

Remarque

À la différence des autres paramètres, le suivi de la température se fera en continu tout au long de la chronique, dès la pose des sondes qui se fera autant que possible 12 mois avant le début des travaux. Sur la station Restaurée, la sonde sera retirée juste avant la mise en œuvre des travaux puis replacée dès que possible à la fin de la phase chantier.

À l'échelle d'un point de prélèvement, la température du cours d'eau peut varier de plusieurs degrés selon les conditions environnementales (ombrage, profondeur, débit, etc.). Avant d'installer le capteur, il convient d'effectuer une série de mesures de température et conductivité afin d'avoir une idée de l'hétérogénéité des flux et de déterminer l'emplacement d'installation en cohérence avec l'objectif poursuivi.

Dans le cadre du SSM, dans un but de comparaison avant/après travaux mais aussi inter-stations, les points les plus importants sont d'une part la reproductibilité d'une année sur l'autre et d'autre part la similarité des conditions entre les stations.

On cherchera donc à :

- placer le capteur dans une zone qui puisse être conservée sur toute la chronique, qui restera accessible dans le futur et sur laquelle aucune modification est envisagée, sauf bien sûr sur la station **Restaurée**. Pour celle-ci, on cherchera après travaux à retrouver les conditions les plus proches possibles pour la nouvelle localisation, en termes d'ombrage, de profondeur, de vitesse de courant (si c'est possible) ;
- placer le capteur dans les mêmes conditions sur toutes les stations : ombrage, profondeur, vitesse de courant, autant que possible.

En cas d'impossibilité de suivre ces recommandations, les écarts seront tracés, notamment sur les fiches terrain. Ceux-ci constituent en effet un facteur explicatif dont la connaissance est essentielle.

Lors de l'installation du capteur, il est recommandé de respecter un minimum de conditions (citées selon l'ordre d'importance) :

- placer le capteur dans une **zone immergée en permanence**. Surveiller les variations de niveau d'eau pour éviter que le capteur se retrouve hors de l'eau ou juste sous la surface en période d'étiage ;
- placer le capteur dans une **veine d'eau courante** ;
- placer le capteur **sur le fond** (si nécessaire le lester pour qu'il reste proche du fond) sans le fixer - l'eau doit passer tout autour du capteur ;
- si possible, immerger le capteur **au moins à 0,5 m sous la surface en petit cours d'eau, 1 m lorsque c'est possible** afin d'éviter l'influence des rayonnements solaires ;
- choisir un emplacement **ombragé** (excepté si la profondeur d'installation ≥ 1 m) et **orienté à l'est** (le soleil couchant chauffe les berges qui restituent au cours d'eau pendant la nuit, faussant ainsi les données) ;
- éviter l'installation du capteur dans la zone d'influence située en aval d'un rejet/affluent sauf en cas d'étude d'impact de ce rejet/affluent ;
- éviter les zones colonisées par la végétation aquatique durant l'année ;
- choisir un emplacement peu fréquenté et facilement accessible. S'il est impossible de placer le capteur en zone peu fréquentée, programmer les installations et relèves en-dehors des périodes de fréquentation ;
- en présence de sous-berges, privilégier l'installation du capteur à proximité de celles-ci (elles procurent ombrage, stabilité et moindre visibilité pour les passants).

Remarque

Sur un cours d'eau peu profond sur lequel on suspecte un risque d'assec, on privilégiera l'installation d'un capteur à deux paramètres : température et conductivité, température et pression, ou température et taux d'oxygène. En cas de forte variation du second paramètre, un assec sera suspecté. Ceci permettra ainsi de valider la donnée thermique obtenue. Attention cependant aux risques de dérive de ces sondes.

Remarque

Attention, si le capteur repose sur le fond d'un cours d'eau envasé, l'envasement fausse les mesures de température. Sous seulement quelques centimètres de vase, les variations journalières de température sont significativement atténuées. Même si la mesure de température moyenne (mensuelle, annuelle) demeure valide, le temps de réponse est décalé par rapport à la réalité du milieu. Il est donc important de vérifier le niveau d'envasement du capteur.

Remarque

Bien que d'après certains tests il n'y ait aucune influence à court terme du champ électrique sur le capteur de température, il est conseillé lors d'éventuelles pêches à l'électricité de ne pas approcher les électrodes à proximité immédiate du capteur.

L'expérience montre que les crues peuvent emporter le matériel de mesure et les données associées lorsqu'elles y sont stockées. Afin de **privilégier la récupération des données**, il faut donc bien veiller à assurer la fixation du dispositif de mesure et, si possible, installer le capteur à l'abri des crues. Aussi, on conseille de le fixer à un substrat racinaire de ligneux vivant, à l'aide de câbles inox ou de chaînes. Les zones d'abris hydrauliques naturels seront privilégiées.

Pour faciliter la récupération du matériel, il est essentiel, outre son géoréférencement, de décrire l'emplacement exact du site d'installation : prendre plusieurs repères pour localiser le capteur et le point de fixation (photos sur différents plans, bombe de peinture - seulement en zone peu fréquentée -, etc.) car les éléments naturels servant de repère peuvent varier fortement d'une saison à l'autre ou en cas d'événement hydrologique significatif.

Afin de prendre toutes les informations essentielles, tant lors de la pose des sondes que lors de la relève, les fiches terrain spécifiques au suivi thermie seront remplies à chaque campagne (en annexe de cette fiche).

Dans le cas d'enregistreurs autonomes sans télétransmission des données, afin de minimiser la perte de données en raison de disparition ou de défaillances des enregistreurs, il est recommandé de procéder à la récupération des données le plus régulièrement possible (sous réserve de conditions hydrologiques favorables). *A minima*, une **récupération des données 2 fois par an** est conseillée : de manière indicative, il est possible de cibler la fin du printemps-début d'été (mai-juin) et la fin d'été-début d'automne (septembre-octobre). Afin que la récupération ait lieu hors période de crues (et si possible *avant* les périodes de crues), ce calendrier pourra être modifié en fonction du régime hydrologique local.

Remarque

La récupération des données sera aussi l'occasion de vérifier l'état de la batterie des enregistreurs. Notamment, en cas d'exposition prolongée en eau froide, la durée de vie de la batterie est souvent moindre que celle annoncée.

Dans tous les cas, au moins un changement de batterie par sonde sera à prévoir sur la chronique du suivi.

Remarque

Afin de faciliter la récupération en cas de perte, et de rassurer les riverains qui trouveraient une sonde, une plaquette informative pourra être fixée à la sonde, indiquant l'organisme d'origine et un contact.

Bancarisation

<http://www.sandre.eaufrance.fr/notice-doc/processus-dacquisition-des-donn%C3%A9es-de-temp%C3%A9rature-en-continu> et <http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:scenario-d-echanges:quesucont:FRA::ressource:1::pdf>

³³ « Le Sandre a pour mission, d'établir et de mettre à disposition le référentiel des données sur l'eau du SIE (système d'information sur l'eau). Ce référentiel, composé de spécifications techniques et de listes de codes libres d'utilisation, décrit les modalités d'échange des données sur l'eau à l'échelle de la France. D'un point de vue informatique, le Sandre garantit l'interopérabilité des systèmes d'information relatifs à l'eau. » (définition Sandre.eaufrance.fr)

Comme précisé dans la partie précédente, les fiches terrain spécifiques au suivi thermie (en annexe de cette fiche) seront remplies systématiquement à chaque campagne de pose ou de relève, ainsi qu'aux visites pour la récupération des données. Ceci permettra la bancarisation dans de bonnes conditions.

En vue de garantir l'interopérabilité avec les bases de données existantes ou à venir, les données recueillies devront être conformes au dictionnaire Sandre³³ « Processus d'acquisition des données de température en continu » dans sa version validée la plus à jour (actuellement version 1.0 du 21/01/2013, voir ci-contre).

A *minima*, les informations suivantes doivent accompagner chaque série de mesures :

- le code Sandre de l'intervenant ;
- le code Sandre de la station de mesure (voir *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*) à laquelle est rattaché le point de prélèvement correspondant au suivi thermique (point de prélèvement de support « eau ») ;
- les coordonnées géographiques (Lambert 93) du positionnement précis du capteur ;
- l'identifiant et les caractéristiques (modèle, précision) du capteur ;
- les dates et heures de début (immersion) et de fin (récupération des données, remplacement, retrait) de la série de mesures ;
- la profondeur (m) à laquelle le capteur est installé et le niveau d'eau au jour de l'installation.

A l'heure actuelle, les données de température seront stockées dans l'espace de stockage du SSM, au format indiqué dans la partie *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*.

Pour la mise en forme des données de température et leur interprétation, se référer à la *Fiche 9 [Hydrologie]* et notamment l'annexe 3 : *Manuel d'utilisation du fichier de contextualisation hydrologique des suivis de restauration hydromorphologique*.

Caractéristiques annuelles de la station de pose de l'enregistreur

Type de restauration		Restaurée	Témoïn altéré	Témoïn non altéré								
Intensité des étiages*	Visible	Faible	Non visible	Assec								
Marnage (Différence crue/étiage)	< 1 m		1 à 2 m	> 2 m								
Période de crues	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Crues torrentielles	Oui						Non					
Accumulation de dépôts fins	Oui						Non					
Ombrage	Nul				Faible				Fort			

Schéma de localisation de la sonde et/ou photo

Nota :

* Cf. nomenclature Onde

Fiche de pose suivi de la température

Nom station			
Code Station SANDRE			
Cours d'eau			
Commune/Département			
Lieu-dit, précision			
Nom du préleveur/structure			
N° identifiant enregistreur			
Coordonnée X (Lambert 93) en m			
Coordonnée Y (Lambert 93) en m			
Date et heure de pose			
Profondeur de pose			
Température de l'eau au droit de l'enregistreur (en °C)			
Niveau d'eau	Basses eaux	Moyennes eaux	Hautes eaux
Localisation de la sonde	<input type="checkbox"/> Chenal <input type="checkbox"/> Rive gauche	<input type="checkbox"/> Rive droite <input type="checkbox"/> Sous-berge	
Description du lieu de pose et mode de fixation (chaîne, câble, sur racine de ligneux,...)			

Fiche de relève suivi de la température

Nom station			
Code Station SANDRE			
Cours d'eau			
Commune/Département			
Lieu-dit, précision			
Nom du préleveur/structure			
N° identifiant Enregistreur			
Coordonnée X (Lambert 93) en m			
Coordonnée Y (Lambert 93) en m			
Date et heure de relève			
Profondeur de relève			
Température de l'eau au droit de l'enregistreur (en °C)			
Niveau du cours d'eau	Basses eaux	Moyennes eaux	Hautes eaux
Enregistreur exondé	Oui	Non	
Enregistreur envasé ou enseveli	Oui	Non	
Enregistreur perdu	Oui	Non	
Autres remarques lors de la relève Si enregistreur déplacé, description du nouvel emplacement (refaire une fiche pose, si besoin)			

Objectifs

- Collecter des données physico-chimiques classiques et les paramètres complémentaires de manière harmonisée entre les sites de restauration hydromorphologique dans le cadre du SSM.
- Bancariser les résultats obtenus dans les bases de données publiques des agences de l'eau afin d'en conserver une trace sur le long terme.

Éventuellement, une agence de l'eau peut utiliser sa maîtrise d'ouvrage formalisée dans un marché pour produire ces données - et être d'autant plus engagée sur le long terme dans le suivi de ces opérations.

Les points clefs suivants sont des repères vers des protocoles standardisés mais ne constituent pas en eux-mêmes une méthode aboutie. Il conviendra de réfléchir à l'articulation entre les prélèvements physico-chimiques, hydrobiologiques et hydromorphologiques ne serait-ce que pour éviter toute interférence de date. L'application d'un protocole hydrobiologique ou hydromorphologique n'est pas susceptible de gêner les résultats physico-chimiques **après 48h**. À l'inverse également, l'application d'un protocole de prélèvement en rivière n'est pas susceptible de gêner les résultats biologiques **après 48h**. **En cas de prélèvement le même jour que d'autres opérations, veiller à prélever l'eau avant toute intervention dans le cours d'eau, en limite aval des points de prélèvements biologiques et/ou hydromorphologiques.**

Mise en œuvre du suivi

http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_documentaire/documents_en_ligne/guides_milieux_aquatiques/Guide_prelevement.pdf

1. Fréquence des prélèvements : bimestrielle ou mensuelle, soit 6 ou 12 pour une année, même fréquence avant - pendant - après travaux et inter-sites, voir *Chronologie des suivis* et les fiches par type d'opération.
2. Protocole de prélèvement : *Guide du prélèvement d'échantillons en rivière* - Novembre 2006 par exemple, soumettre le protocole à l'agence de l'eau concernée qui connaît les standards applicables sur son district. Dans la mesure du possible, il est demandé que le préleveur et le laboratoire d'analyse soient couverts par l'agrément ministériel Lab'eau et donc accrédités au COFRAC (laboratoire COFRAC et rendant les analyses ci-dessous sous accréditation).
3. Phase d'initiation des mesures. Elle est dans l'idéal de 3 années de suivi avant-travaux. Mettre en place le suivi de la physico-chimie dès que possible s'il est trop tard pour mettre en place ce préliminaire, et *a minima* sur une année.
4. Liste des paramètres à suivre : voir ci-dessous. La physico-chimie *in situ* et les paramètres classiques sont à suivre dans tous les cas, les autres paramètres sont à suivre selon les cas.

PC (Physico-chimie) *in situ* (Tronc commun OBLIGATOIRE)

Tableau 5 - Paramètres à suivre dans tous les cas (mesures *in situ*)

Code Sandre	Libellé
1301	Température
1302	pH
1303	Conductivité (25°)
1311	O2 dissous
1312	taux de saturation en O2

PC Classique (Tronc commun OBLIGATOIRE)

Tableau 6 - Paramètres à suivre dans tous les cas (analyses laboratoire)

Code Sandre	Libellé
1295	Turbidité
1305	Matières en suspension
1335	Ammonium (eau filtrée)
1339	Nitrites (eau filtrée)
1340	Nitrates (eau filtrée)
1347	Titre alcalimétrique complet
1350	Phosphore (eau filtrée)
1433	Orthophosphates (PO4)
1841	Carbone organique dissous (eau filtrée)

Remarque

Les limites de quantification du phosphore et des nitrates doivent être performantes (Tableau 7). Norme : consulter l'Agence de l'eau, ou bien performance analytique de la Directive QA/QC (Directive_2009_90_CE_31_07_2009).

http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/doc/Directive_2009_90_CE_31_07_2009.pdf

Tableau 7 - Exemples de paramètres nécessitant des seuils de quantifications bas

Code Sandre	Paramètres	Seuil agences	Unité	Fraction analytique
1339	Nitrites	0,01	mg/L	eau filtrée
1340	Nitrates	0,5	mg/L	eau filtrée
1433	Orthophosphates	0,015	mg/L	eau filtrée

Paramètres de l'eutrophisation

Si une eutrophisation est suspectée, ou si une évolution du niveau trophique du milieu est attendue, les paramètres de l'eutrophisation sont à suivre (Tableau 8). En première approche, le suivi de la silice, des phéopigments et de la chlorophylle a est préconisé (notamment en plans d'eau et retenues en amont de seuils). Par la suite, un suivi des variations des paramètres de l'oxygène, de la température et du pH sur un rythme nyctéméral peut être envisagé (annexe 1 de cette fiche).

La mesure de la biomasse, voire plus simplement les estimations des recouvrement de la végétation aquatique selon la grille jointe en annexe, seront essentiels pour ce domaine d'étude pour l'interprétation des données³⁴. Un suivi photographique tout au long de la saison de végétation peut être réalisé d'avril à septembre, avec une fréquence bimensuelle à partir du démarrage de la végétation (voir également la Fiche 7 [Photos]).

³⁴ Il est recommandé que les observateurs fassent des tests « en aveugle » afin de caler leurs estimations.

Tableau 8 - Paramètres à suivre en cas de suspicion d'eutrophisation

Code Sandre	Libellé
1342	Silice dissoute (eau filtrée)
1436	Phéopigments (méthode Lorenzen)
1439	Chlorophylle a (méthode Lorenzen)
1311	O2 dissous (amplitude jour-nuit)
1312	taux de saturation en O2 (amplitude jour-nuit)
1301	Température (enregistrement)
1302	pH (amplitude jour-nuit)

Paramètres révélateurs d'une charge organique

En cas de suspicion d'évolution de la charge carbonée, comme par exemple en présence d'un assainissement non collectif défectueux à proximité (dans un rayon de 3 km), de modification de rejets industriels ou d'une collectivité, de connexion modifiée à une fosse ou à un bief ayant subi des décantations importantes de matières organiques : suivre en sus la Demande chimique en oxygène (DCO), la Demande biologique en oxygène à 5 jours (DBO5), l'ammonium (NH_4^+) et les chlorures, sur la base d'une prospection préalable.

Si possible, des mesures de conductivité seront réalisées plusieurs fois dans la journée (fin de nuit, matinée, fin de journée), pour aider à l'interprétation des résultats.

Paramètres bactériologiques

Aucun complément de paramètres bactériologiques ne semble en lien direct avec l'hydromorphologie.

Paramètres ions majeurs

En vue d'analyser finement la capacité biogène de certains sites et pour une première approche des relations nappes-rivières (voir aussi la *Fiche 10 [Connexions avec la nappe]*), s'il n'y a pas de station de mesures comparable au plan hydrogéochimique, suivre les ions majeurs peut s'avérer intéressant. Il n'est pas nécessaire de les suivre à une fréquence mensuelle ou tous les deux mois : deux fois par an basse-eaux/hautes-eaux suffit en général. Ces ions sont (code Sandre et nom du paramètre) : 1327 Hydrogénocarbonates, 1328 Carbonates, 1337 Chlorures, 1338 Sulfate, 1367 Potassium, 1372 Magnésium, 1374 Calcium, 1375 Sodium.

Bancarisation

Prévenir l'Agence pour y déclarer les points de prélèvement avec leurs attributs techniques (géoréférencement notamment) et pour obtenir leur codification puis leur rattachement aux stations (voir la partie *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*). Il est rappelé de bien positionner les points de prélèvement pour la physico-chimie à l'aval des linéaires prospectés pour la biologie et, comme pour tous les autres supports, hors singularités hydrographiques (ouvrages, confluences, rejets).

Se rapprocher de l'Agence pour les formats de fichiers de saisie.

Les systèmes de récupération/téléchargement des données bancarisées sont indiqués dans le Tableau 9.

Tableau 9 - Interfaces de consultation des données et lien vers le site correspondant, par Agence

Agence	Interface de consultation des données	Lien web
Loire-Bretagne	OSUR	http://osur.eau-loire-bretagne.fr/exportosur/action/Geographie
Seine-Normandie	Qualit'eau	http://qualiteau.eau-seine-normandie.fr
Rhône-Méditerranée et Corse	SIERMC	http://sierm.eaurmc.fr/gestion/dce/geo-sdage
Adour-Garonne	SIEAG	http://adour-garonne.eaufrance.fr/etat-des-milieux-superficiels/qualite-des-cours-deau
Rhin-Meuse	SIERM	http://rhin-meuse.eaufrance.fr/qualit-coursdeau
Artois-Picardie	Qualité des rivières	http://www.eau-artois-picardie.fr/donnees-sur-leau/visualiser-et-telecharger-les-donnees

Suivi du bilan oxygène et impact de l'eutrophisation en cours d'eau

En cas de fort enjeu sur l'eutrophisation, il est préconisé de réaliser un protocole spécifique.

La fréquence, la période et l'heure de la mesure sont prédominantes dans l'évaluation des phénomènes d'eutrophisation afin d'encadrer le cycle nyctéméral.

Des mesures sont ainsi réalisées sur au moins 4 campagnes en période d'étiage estival de juin à fin septembre, confondues avec les campagnes de prélèvements en vue d'analyses physico-chimiques, et une campagne en période hivernale de basses eaux. Ces campagnes consistent en des mesures *in situ* 5 fois par jour des paramètres de terrain classiques : température, pH, oxygène dissous, conductivité, réparties comme suit :

- tôt le matin (avant le démarrage de la photosynthèse) ;
- deux au cours de la journée ;
- une en fin d'après-midi (18 - 19 h) ;
- une en début de nuit.

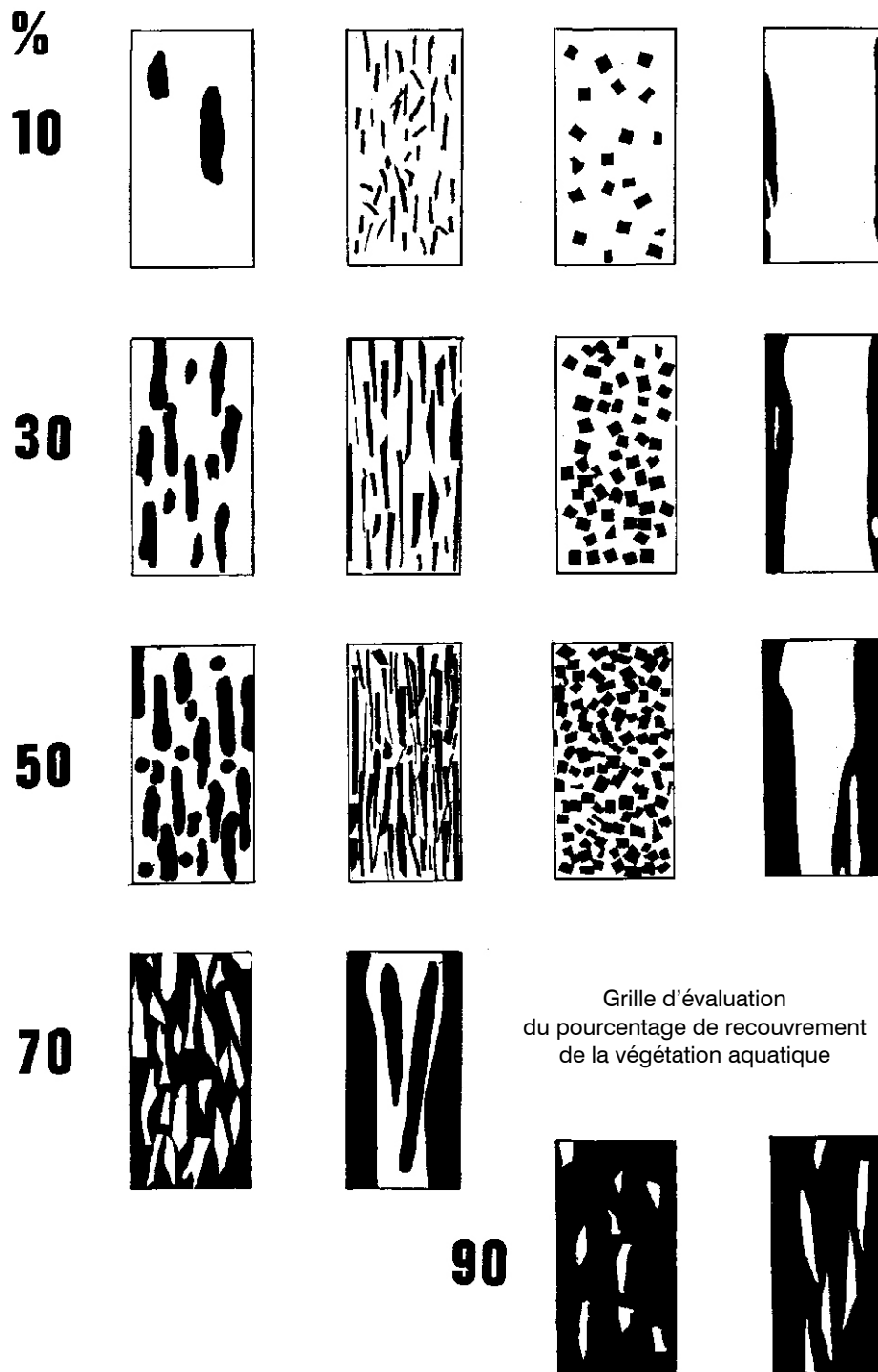
Ces mesures doivent être réalisées au cours d'une journée ensoleillée.

Remarque

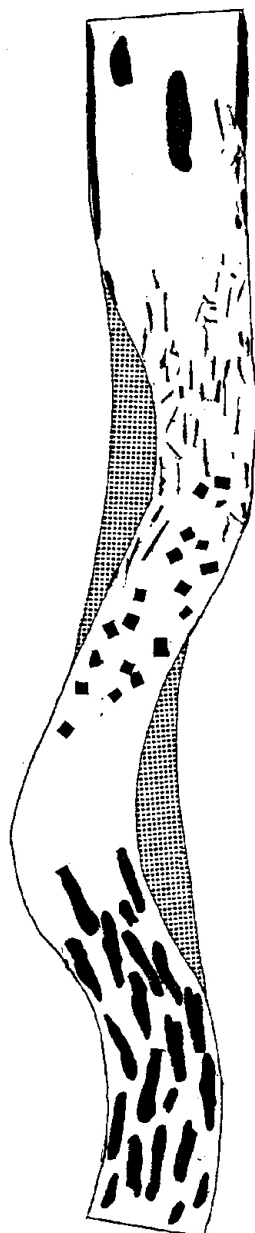
Lorsque ce sera possible, les campagnes de mesure débuteront par les prélèvements de l'après-midi afin d'être assuré d'avoir une météorologie favorable pour appréhender une activité photosynthétique maximum.

Grille comparative des recouvrements de végétation aquatique

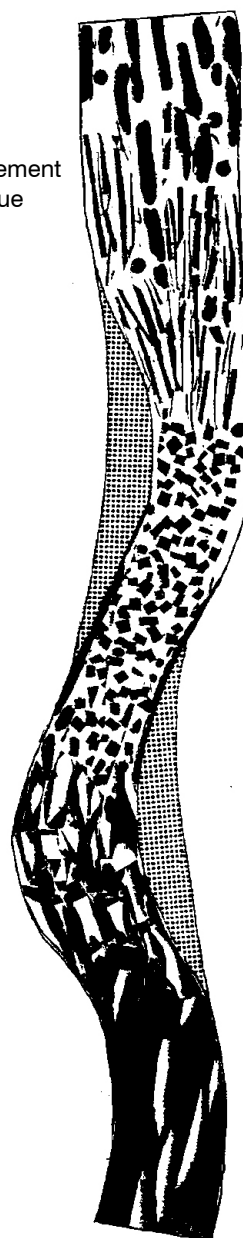
Grilles établies par Xavier Bourrain, Agence de l'eau Loire-Bretagne



20 %



55 %



Grille d'évaluation
du pourcentage de recouvrement
de la végétation aquatique

X.BOURRAIN - 1989

Protocole de suivi photographique de l'évolution hydromorphologique d'un cours d'eau

Principe

Le suivi photographique proposé dans ce document consiste en un ensemble de photos réalisées sur un site avant puis après (voire pendant) des travaux de restauration hydromorphologique. Chaque photo est prise à un endroit choisi permettant de garantir une prise de vue suivant les mêmes caractéristiques techniques (positionnement vertical, horizontal, angle d'observation...). La fréquence, définie selon les critères du SSM (voir *Chronologie des suivis*) pourra être complétée selon les variations annuelles et saisonnières (débit, développement végétal...) et les évolutions morphologiques attendues.

Objectifs

Le protocole développé ici a pour objectif de confronter des visuels avant et après (voire pendant) des travaux de restauration hydromorphologique sur un cours d'eau. Il doit permettre d'illustrer les différentes étapes de l'évolution du cours d'eau suite aux travaux (ajustements morphologiques ou développement de la végétation) dans un contexte global d'évolution du paysage. Il pourra également, le cas échéant, témoigner d'une stabilité des formes.

- Ce suivi, dans le cadre du SSM, apporte une vision complémentaire de l'évolution du milieu appréhendée par les indicateurs plus classiques.

Remarque

Le suivi photo peut répondre à un objectif de communication vers le grand public car c'est un outil visuel puissant de l'évolution du milieu et de son paysage appréhendable par tous.

Ce type de suivi peut être déployé seul si les contraintes techniques ou la faible ampleur du projet ne permettent pas la mise en place des suivis scientifiques préconisés dans le SSM car il peut être interprété indépendamment d'autres indicateurs.

Remarque

Le protocole de suivi photographique présenté concerne des photos à hauteur de vue humaine. Il ne traite pas des suivis par vue aérienne. Les suivis photographiques (ou filmographiques) par vue aérienne permettent d'obtenir des visuels d'envergure pertinente notamment sur des projets de restauration morphologique entraînant une forte évolution du tracé en plan du cours d'eau, des surfaces en eau, ou de la végétation. Les variations d'altitude permettent également de varier les angles jusqu'à une prise de vue à la verticale, offrant un visuel simplifié à deux dimensions. Ils sont également complémentaires des suivis photographiques au sol en limitant fortement les contraintes liées à l'évolution de la végétation ligneuse qui rend parfois inexploitable certaines prises de vue à hauteur humaine.

Matériel

Le suivi photographique doit être réalisé avec :

- un appareil permettant de géo-positionner chaque prise de vue (GPS intégré à l'appareil photo ou dissocié) ;
- un (ou des) appareil(s) photographique(s) :
 - permettant de générer des fichiers numériques si possible de qualité haute définition (définition *a minima* 10 Mpix) avec une bonne résolution (environ 300 dpi),
 - permettant de générer des fichiers bruts, car il est souvent nécessaire de travailler les photos pour corriger des erreurs ou variations d'exposition limitantes pour la comparaison de plusieurs campagnes. Généralement, un double enregistrement raw/jpeg ou raw/tiff est conseillé, pour assurer la compatibilité avec les logiciels de traitement d'image,
 - avec des focales fixes ou variables permettant de couvrir les besoins du suivi (plan très large, large, serré). Les focales les plus proches de la vision humaine, de 35-50 mm (voir remarque en partie *reconduction des prises de vue* sur les coefficients multiplicateurs), seront à privilégier dès que possible. Elles permettent des suivis détaillés en vision assez rapprochée. Avec une focale proche de la vision humaine, il est beaucoup plus facile de se recalculer et retrouver le point de vue d'origine lorsqu'on revient à une saison différente ou après plusieurs années, qu'avec un grand angle ou un téléobjectif ;
- un trépied (fortement conseillé).

Remarque

Pour les plans larges, il est plus rapide et économique de réaliser une vue panoramique en assemblant un lot d'images se superposant. Certains logiciels, parfois intégrés à l'appareil photo, permettent des traitements d'image très rapides et assez efficaces. L'utilisation d'un pied calé à l'aide d'un niveau à bulle est recommandée pour limiter les erreurs de calage entre les photos.

Méthode

Il s'agit de réaliser plusieurs séries de clichés photographiques à partir de points définis précisément et à intervalle de temps régulier.

Plan d'échantillonnage des prises de vue

Ces points sont choisis de façon :

- à couvrir l'ensemble du site devant faire l'objet de travaux de restauration hydromorphologique ;
- à obtenir un rendu visuel de l'état hydromorphologique, des perturbations et des altérations du milieu devant être corrigés par les travaux de restauration. Il faut veiller à choisir des points permettant autant que possible d'appréhender visuellement :
 - le tracé en plan, les profils en travers du cours d'eau,
 - la diversité des faciès d'écoulement,
 - la diversité des habitats (sous-berges, herbiers, caches...),
 - la qualité du corridor alluvial (ripisylve, occupation des berges et de la zone rivulaire),
 - les éventuels ouvrages, vannages, digues ou merlons de curage,
 - éventuellement, les traces plus fines d'ajustements morphologiques (atterrissements, traces d'incision, confluences de sources ou fossés, développement de végétation, dépôts organiques...).

En préalable, il sera utile :

- de bien souligner certains repères visuels fixes (nettoyer la mousse, enlever des ronces sur une grosse pierre, une pile de pont...), voire d'ajouter des repères latéraux ou d'altitude (trace de peinture, échelle limnigraphique...) à des endroits stratégiques ;
- d'avoir dans la mesure du possible quelques visuels permettant d'avoir une vue d'ensemble du site en situant quelques points culminants (haut de vallée, de talus...) ;
- d'avoir des vues que l'on suppose durables malgré le développement en hauteur de la végétation. Il convient de multiplier les visuels sur un même site afin d'anticiper cette évolution ;
- de rechercher des points de vue qui doivent permettre de visualiser le déplacement latéral du cours d'eau le cas échéant (cours d'eau à forte énergie, cours d'eau en tresses) ;
- de choisir des points de vue facilement accessibles ;
- d'avoir des conditions d'éclairage optimales afin de permettre un passage unique pour l'ensemble des points.

Remarque

Si un bon ensoleillement peut être intéressant pour avoir des clichés flatteurs pour le paysage et les travaux menés, cela peut présenter des inconvénients notoires :

- *les ombres portées peuvent masquer une bonne visibilité de certains points de détail en lit mineur (faciès d'écoulement, granulats...), surtout si les berges sont assez hautes et l'axe du lit perpendiculaire au soleil. Une campagne estivale avec un soleil presque à la verticale aura un rendu visuel très différent d'une campagne hivernale avec des ombres portées très longues ;*
- *les contrastes très marqués soleil-ombre peuvent perturber la gestion automatisée de la lumière, de la balance des blancs voire de l'autofocus sur certains appareils. Un appareil assez sophistiqué et un bon savoir-faire de l'opérateur sont nécessaires pour pallier à ces inconvénients.*

Une journée nuageuse (mais non pluvieuse et avec une luminosité suffisante), permet de réaliser des clichés souvent techniquement plus intéressants (même si le caractère « artistique » de la photo peut en pâtir). Par temps ensoleillé, l'utilisation d'un pare-soleil est très fortement recommandée et indispensable pour les objectifs « grand angle ».

Reconduction des prises de vue et saisie du carnet de suivi

Les premières prises de vue (avant travaux) puis les prises de vue suivantes (après, voire pendant travaux) doivent être effectuées avec une grande rigueur afin de permettre une comparaison aisée et rigoureuse des clichés. Pour cela, les photos doivent donc être prises d'un point fixe et selon un cadrage constant.

Pour la prise de vues initiale, il est essentiel :

- de géo-positionner et/ou de matérialiser les points de prises de vue sur le terrain par un marquage au sol ou sur des repères fixes (poteaux, arbres, piquets...). La matérialisation sur des arbres doit être doublée systématiquement de repérages métriques car une coupe intempestive ou une tempête abattant une portion importante de ripisylve peut aisément compromettre un suivi pluriannuel ;
- de noter précisément les conditions techniques de la première prise de vues (format - focale).

À l'issue de la série photographique initiale (avant travaux), il convient de réaliser un carnet de suivi photographique identifié par le code Sandre et le nom du réseau de suivi local (voir *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*). Ce carnet comprend :

- un plan d'échantillonnage localisant chaque prise de vue par son identifiant et permettant de visualiser sur une carte l'itinéraire à suivre sur le site (à réaliser sur Géoportail ou sur un logiciel SIG) ;

- une fiche d'implantation pour chaque point de vue présentant le cliché initial et précisant :
 - numéro du point de vue dans l'itinéraire, numéro de la série photographique,
 - coordonnées GPS, date, heure, météo,
 - nom du photographe, hauteur de prise de vue, orientation (N, S, E, O, vers amont, vers aval, rive droite, rive gauche, ou angulation précise relevée à la boussole),
 - critères hydromorphologiques suivis : tracé en plan, profil en travers, faciès d'écoulement, ripisylve, habitats, ouvrages...

Les documents en annexe de cette fiche seront utilisés pour la réalisation de ce carnet.

Pour les reprises de vues suivantes, il est conseillé :


- de réaliser les prises dans des conditions d'éclairage similaires et des conditions météorologiques proches ;
- de respecter les conditions de prise de vue initiale et notamment l'emplacement de l'appareil, la focale, l'angle et le champ de la prise de vue.

Une fiche terrain (en annexe de cette fiche) sera systématiquement remplie à chaque campagne de terrain.

Remarque

Il est généralement préférable de réaliser ses suivis photos toujours avec la même focale et le même boîtier mais sur un suivi pluriannuel ou partagé entre plusieurs opérateurs, il peut être difficile de se tenir à cette recommandation. En cas de changement de focale ou du boîtier, pour les boîtiers qui ne sont pas plein-format, attention de vérifier les coefficients multiplicateurs des appareils numériques qui peuvent varier d'une marque et d'un modèle à l'autre (voir <https://fr.wikipedia.org/wiki/APS-C>).

Pour cette reconduction, l'opérateur doit avoir avec lui le carnet de suivi avec le plan d'échantillonnage et les fiches d'implantation de chaque point de vue pour lui permettre de reproduire les clichés à l'identique.

 Dans le cadre de suivi de travaux de reméandrage ou de remise en fond de talweg, la reproductibilité géographique des prises de vues ne sera pas possible car le tracé du cours d'eau est déplacé. Dans ce cas, la confrontation avant et après travaux des clichés portera sur l'évolution visuelle de paramètres tels que l'évolution du tracé en plan, des profils en travers du cours d'eau, de la diversité des faciès d'écoulement, la qualité du corridor alluvial. Dans la mesure du possible, il faudra réaliser des prises de vue de la vallée depuis un point culminant permettant d'avoir une vision du site englobant le tracé avant et le tracé après travaux.

Période et fréquence des prises de vues

Il est conseillé de réaliser *a minima* deux types de séries :

- une série avant travaux (dite série d'implantation) ;
- plusieurs séries après travaux à une périodicité annuelle ou bisannuelle (dites séries de reprise ou de reproduction).

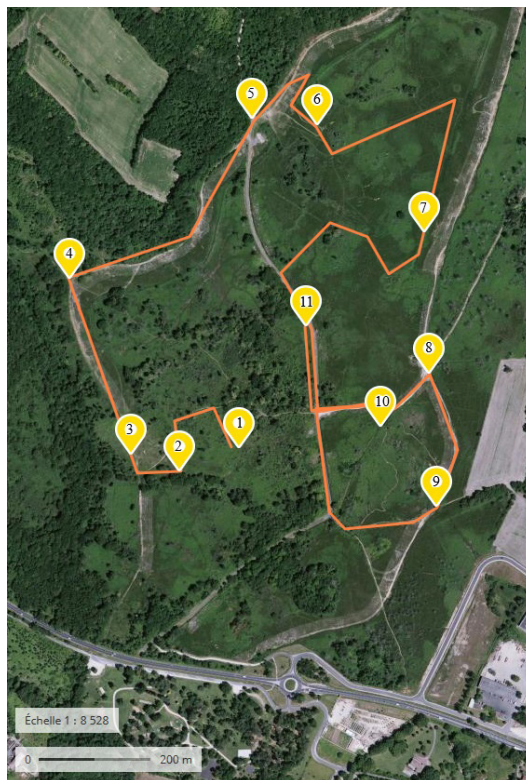
Les séries de clichés seront réalisées sur le même pas de temps que les autres suivis du SSM, soit *a minima* une fois avant les travaux, puis 9 à 15 mois après les travaux puis tous les deux ans jusqu'à 7 ans après travaux.

Pour chacune de ces séries, il convient de les réaliser suivant la même période végétative, la période de végétation (du 1^{er} avril au 30 octobre environ) étant la plus indiquée pour le suivi visuel de la ripisylve et des habitats d'herbiers.

Il est conseillé de compléter la série après travaux par une campagne photographique en période de hautes eaux ajustée aux épisodes de crue (voir Figure 50 ci-après) pour voir le comportement hydraulique sur le site restauré et analyser à la décrue les signes d'ajustement.

Par ailleurs, comme l'atteste la Figure 50, ces séries peuvent être utilement complétées par une série réalisée pendant les travaux.

Figure 49 - Espace naturel des Brandes de Soyaux, exemple de plan d'échantillonnage (réalisé sur Geoportail d'après Antenne Paysage du CREN de Poitou-Charentes).



a) © Michel Bramard - AFB



b) © Michel Bramard - AFB



c) © Michel Bramard - AFB



d) © Michel Bramard - AFB

Figure 50 - Travaux sur la Rune (86).

a) cours d'eau en phase travaux (déivation avec lit emboîté), b) débit plein bord avant débordement, c) crue débordant sur le lit majeur restreint, d) 4 ans après travaux.

Analyse et interprétation

L'objectif d'un suivi photographique est de permettre de confronter des visuels avant et après (voire pendant) les travaux de restauration hydromorphologique sur un site donné afin d'analyser l'évolution du cours d'eau dans ses composantes physiques et paysagères.

En général, les évolutions attendues sont une augmentation de la diversité des composantes physiques et paysagères du cours d'eau et une diminution des pressions anthropiques soit :

- une sinuosité du tracé en plan ;
- une diversité des profils en travers du cours d'eau ;
- une diversité des faciès d'écoulement ;
- une diversité des habitats (sous berges, herbiers, caches...) ;
- une diversité du corridor alluvial ;
- la modification ou disparition de bâtis anthropiques (ouvrages, vannages, digues ou merlons de curage...) ;
- une ripisylve variée et bien développée.

Des relevés photographiques plus précis associés à des repères verticaux ou latéraux (tiges graduées) et/ou confrontés à des indicateurs morphologiques (voir *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]* et *Fiche 8 [Profil en long et faciès d'écoulements]*) vont permettre d'illustrer une évolution positive ou négative du lit (incision, engravement, colmatage, variation du rapport de forme...) liée aux ajustements après travaux, à des pressions locales (par exemple gestion de la ripisylve, piétinement, etc.) ou à des incidences du fonctionnement du bassin versant en amont (par exemple dysfonctionnements hydrologiques, apports de matières en suspension).

Bibliographie spécifique

CREN Poitou-Charentes, *Les Observatoires Photographiques du Paysage en Poitou-Charentes*. 2014, Antenne Paysage du Conservatoire Régional d'Espaces Naturels de Poitou-Charentes. p. 8.

<http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/userfiles/file/P0/methodeOPP.pdf>

<http://www.cren-poitou-charentes.org/suivi-photographique-des-sites-du-conservatoire-2015>

<http://www.cren-poitou-charentes.org/paysage/paysage-et-sites-du-conservatoire/observatoires-photographiques-du-paysage>

http://www.liferuisseaux.org/realisations_etudes/Valdeschoues/Suivi_photo_suppression_etang.pdf

http://www.lapetiteloiterie.fr/lpl/suivis_etudes/observations/suivi_photo/

Plan d'échantillonnage d'implantation

Localisation

Code Sandre réseau			
Nom du réseau			
Date			
Nom opérateur			
Météo			
Créneau horaire			
Commune			
Coordonnées GPS de début parcours (Lambert 93 ou WGS 84)			

Appareil/Réglages

Type d'appareil			
Focale			
	Manuel		Automatique
Ouverture (facultatif) :		Types de modes automatiques :	
Vitesse (facultatif) :			

Prises de vue implantation (1 fiche par prise)

Date et heure		
N° du point de vue		
N° de la photo donnée par l'appareil		
Repères/positionnement appareil		
Coordonnées GPS (Lambert 93 ou WGS 84)		
Précision GPS (en m)		
Description points de repères	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> Vers amont <input type="checkbox"/> Rive droite
		<input type="checkbox"/> Vers aval <input type="checkbox"/> Rive gauche
Orientation		
Hauteur de prise de vue		
Objectifs et critères hydromorphologiques	Tracé en plan/profil en travers/faciès d'écoulement/ripisylve/habitats/ouvrages	
Schéma de positionnement de l'appareil et/ou remarques		

Prises de vue reconduction

Localisation

Code Sandre réseau et nom du réseau	
Date	
Nom opérateur	
Météo	
Créneau horaire	
N° de la série photographique	

Appareil/Réglages

Type d'appareil			
Focale			
	Manuel	Automatique	
Ouverture (facultatif) :		Types de modes automatiques :	
Vitesse (facultatif) :			

Remarques/Schémas/Autre

--

Modèle carnet de suivi/ Plan d'échantillonnage d'implantation

Localisation

Code Sandre réseau			
Nom du réseau			
Date			
Nom opérateur			
Météo d'implantation			
Créneau horaire			
Commune			
Coordonnées GPS de début parcours			

Appareil/Réglages

Type d'appareil			
Focale			
	Manuel		Automatique
Ouverture (facultatif) :		Types de modes automatiques :	
Vitesse (facultatif) :			

Itinéraire photographique (SIG)

--

Modèle carnet de suivi/fiche d'implantation

N° du point de vue		
Coordonnées GPS (Lambert 93 ou WGS 84)		
Précision GPS (en m)		
Description points de repères		
Orientation		
Hauteur de prise de vue		
Objectifs et critères hydromorphologiques		
Photo	Schéma	

Suivi du profil en long

Définition générale du profil en long

Le profil en long d'un cours d'eau est une représentation graphique qui met en rapport la cote du fond du lit et/ou de la ligne d'eau et/ou du niveau des berges (en ordonnées), et la distance (en abscisses). Il peut être réalisé à différentes échelles du cours d'eau (linéaire complet, tronçons, stations) et permet d'observer les variations longitudinales de la pente du fond du lit et/ou de la ligne d'eau et/ou du niveau des berges.

C'est un outil hydromorphologique essentiel qui traduit, par la comparaison diachronique de plusieurs relevés, les processus physiques verticaux d'ajustement (érosion/dépôt), sous l'effet notamment des variations de débits liquide et solide (variables de contrôle primaires). Plus localement, la pente et la géométrie de la vallée, la granulométrie du lit et la végétation rivulaire (variables de contrôle secondaires) influencent aussi la forme du profil longitudinal. Le profil en long s'ajuste également en fonction du « niveau de base » (ou « niveau de contact aval ») qui peut être le niveau de la mer pour les fleuves ou la cote altitudinale du cours d'eau récepteur pour leurs affluents [46]. Lorsque le niveau de base évolue, pour des raisons naturelles (variation du niveau marin ou de la cote de l'exutoire) ou anthropiques (par exemple, mise en place de seuils ou curage), le profil en long s'ajuste plus ou moins rapidement soit par incision (érosion régressive) soit par exhaussement (remblaiement du lit).

À l'échelle du cours d'eau, une forme de profil en long dite d'équilibre, généralement concave [46] s'établit lorsque la capacité de transport est en équilibre avec la fourniture sédimentaire (équilibre entre l'érosion et le dépôt). Cependant, cette forme n'est pas « lisse », car localement des facteurs comme la géologie et la topographie de la vallée ou des structures anthropiques peuvent créer des irrégularités.

Objectifs du suivi

Le suivi du profil en long dans le cadre du suivi scientifique minimal cherche avant tout à rendre compte de l'évolution des variations verticales du fond du lit, puisque c'est là qu'agit et se matérialise une partie des processus d'érosion et de dépôt, témoignant du fonctionnement hydro-sédimentaire.

L'objectif du suivi du profil en long est d'analyser l'évolution altimétrique du fond du lit sous l'effet des nouveaux processus d'érosion et de dépôt occurrents dans le tronçon hydromorphologique comprenant le secteur restauré. Le suivi doit également permettre d'identifier et de quantifier, sur l'ensemble de la zone d'étude, les ruptures de pente, pour analyser leur évolution. La caractérisation du profil en long, dans le cadre du SSM, informe sur l'évolution longitudinale et verticale de la séquence radier/mouille.

Définition de l'emprise du suivi

Emprise des travaux

Pour les restaurations linéaires (reméandrage, remise dans le talweg, contournement de plans d'eau, etc.), l'emprise des travaux se définit assez simplement par le linéaire concerné par les travaux. Dans le cas de ce type d'opération, il correspond à la dénomination «linéaire restauré» (voir *Échelles du suivi et éléments à suivre*). Pour les opérations d'effacement d'ouvrage, le linéaire concerné par les travaux est borné par le remous solide à l'amont (si celui-ci est difficile à caractériser, prendre en compte l'extrémité amont de la retenue formée par l'ouvrage) et par l'ouvrage lui-même à l'aval.

Attention, bien souvent, le point de prélèvement Carhyce (voir la Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]) de la station Restaurée ne couvrira pas l'intégralité du linéaire concerné par les travaux. Il faut donc bien distinguer d'une part l'emprise des travaux et d'autre part l'emprise du point de prélèvement Carhyce de la station Restaurée.

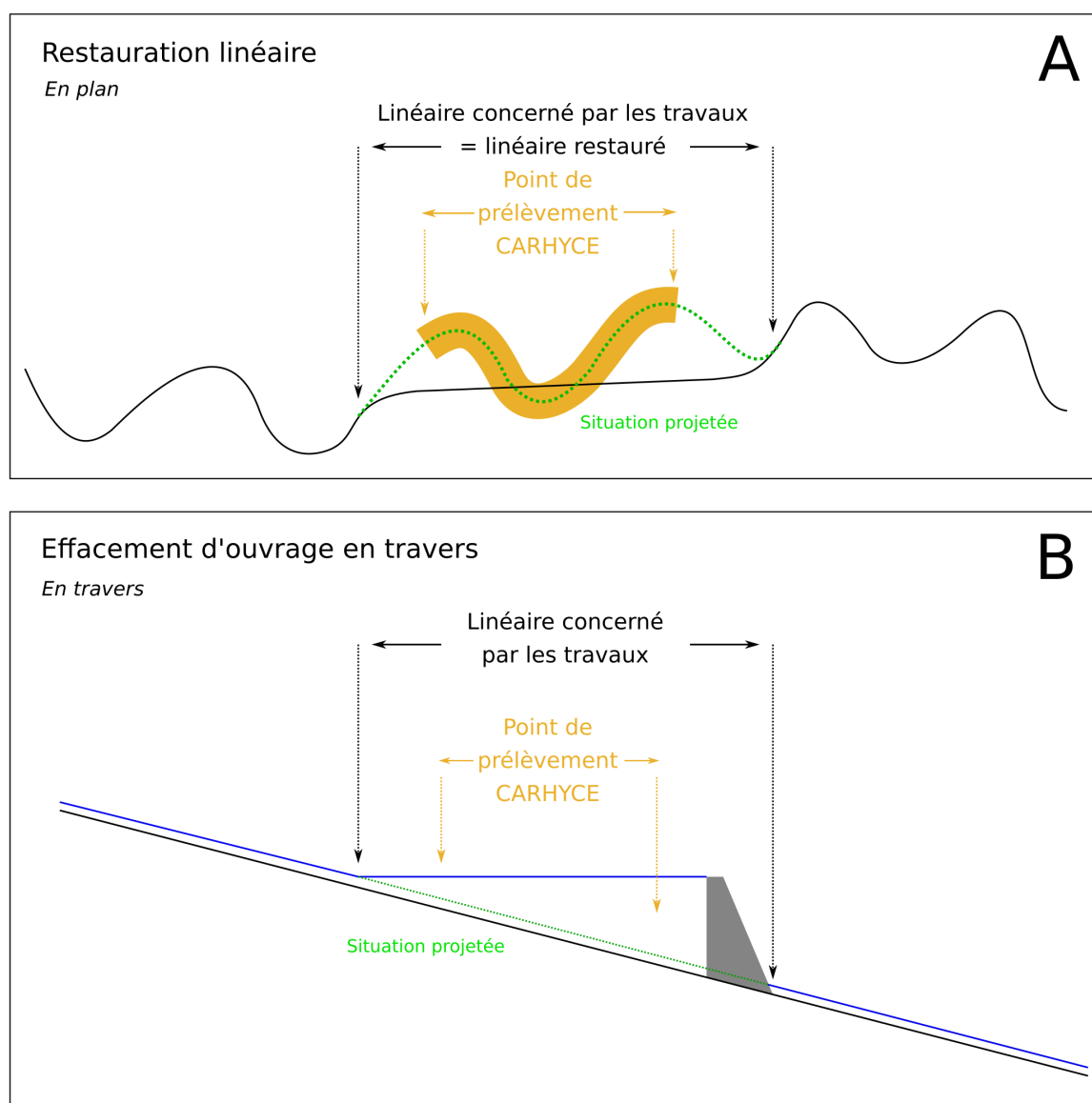


Figure 51 - Définition du linéaire concerné par les travaux dans le cas des différents types d'opérations de restauration

Définition de la zone de suivi du profil en long

La zone qui fait l'objet du suivi du profil en long comprend le linéaire concerné par les travaux dans son intégralité, étendu à l'amont et à l'aval d'une distance de 50 largeurs pleins bords du cours d'eau hors emprise d'une retenue (50 Lpb), puisque les effets de la restauration (notamment vis-à-vis des débits liquide et solide) vont contribuer à modifier le profil en long du lit au-delà du linéaire concerné par les travaux. Ainsi, pour un cours d'eau de 5 m de large, le profil en long réalisé s'étendra sur 250 m en amont de la limite amont des travaux et sur la même distance en aval de la limite aval de ceux-ci. Sur l'exemple Figure 51, si le linéaire concerné par les travaux s'étend sur 400 m et que le cours d'eau a une $L_{pb} = 5$ m, le profil en long doit être réalisé sur 900 m (Figure 52).

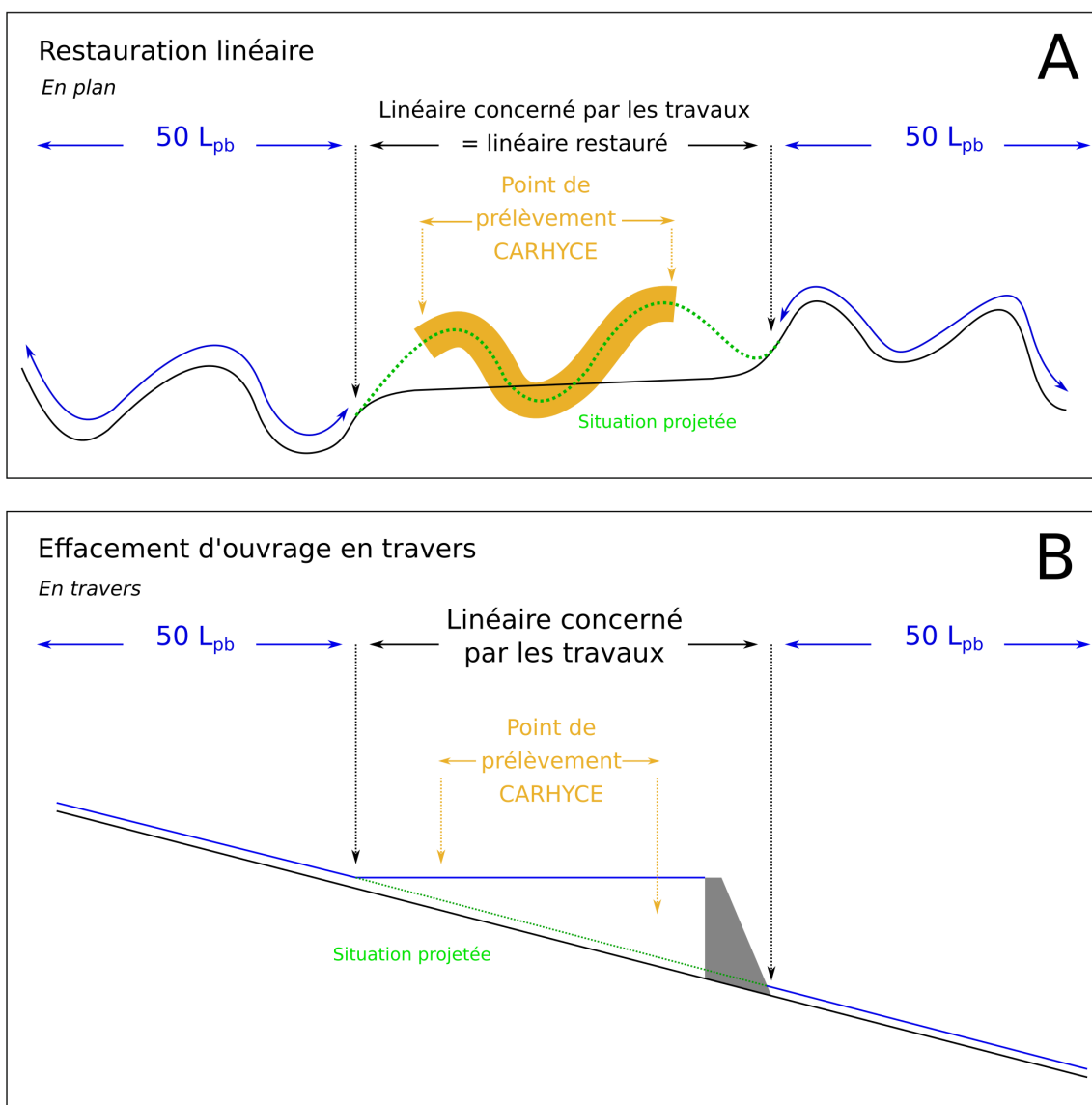


Figure 52 - Définition du linéaire qui fait l'objet du suivi du profil en long dans le cas des différents types d'opération de restauration

Réalisation du profil en long

Choix de la solution topographique

Quatre méthodes de mesures topographiques, s'appuyant chacune sur des instruments spécifiques, peuvent être mobilisées pour réaliser le profil en long : le niveau de chantier (associé à une mire), le tachéomètre, et le GPS différentiel (DGPS) avec ou sans base fixe.

- Le niveau de chantier est un outil optique simple. Le niveau est réglé de manière à être horizontal et calé sur un (ou des) repère(s) fixe(s)³⁵. Puis un opérateur vise la mire maintenue par un second opérateur situé au sein du lit, à chaque point que l'on veut mesurer. La distance (longueur développée) entre ces mêmes points doit être mesurée dans l'axe du cours d'eau par un topofil. On obtient ensuite la pente par le rapport entre la différence d'altitude entre les deux points et la distance entre eux.

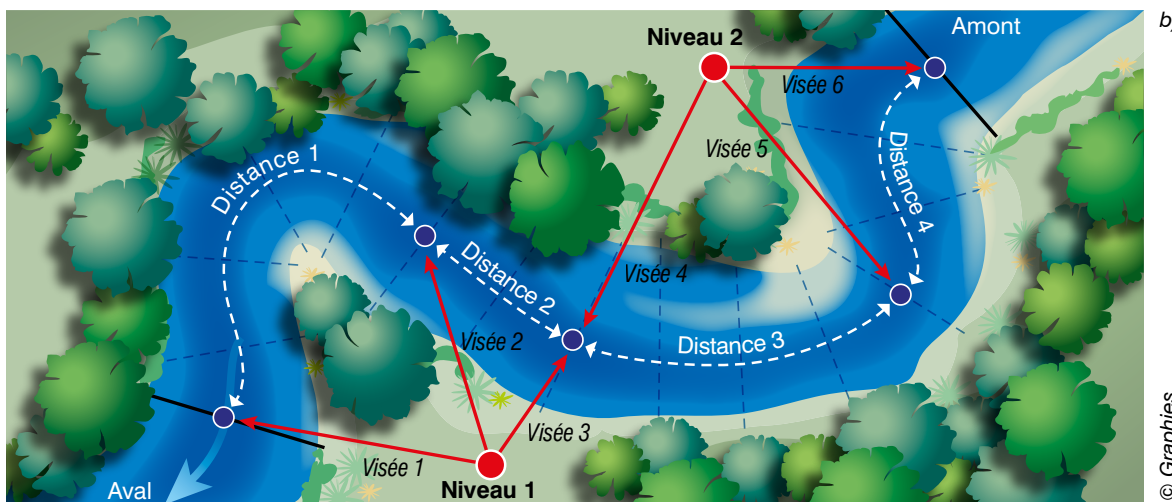
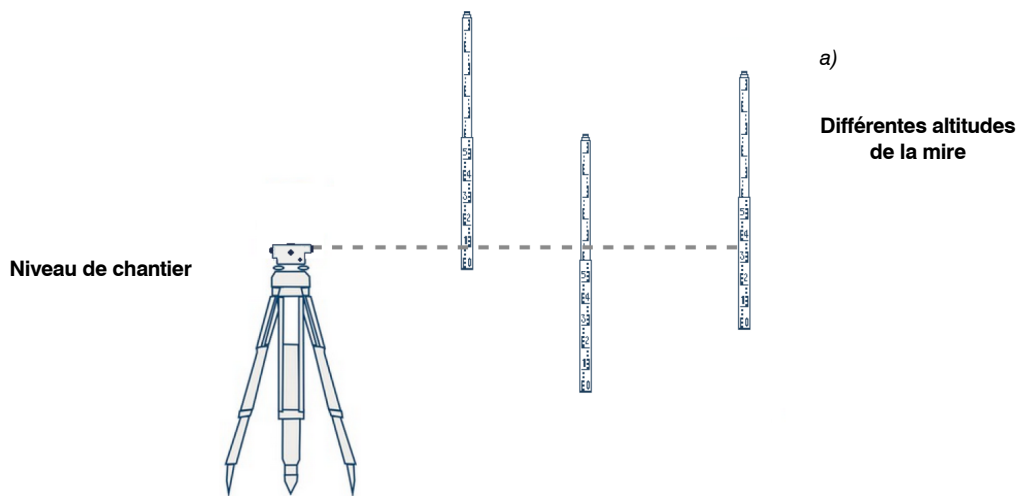


Figure 53 - Mise en œuvre de la méthode du niveau de chantier.

a) le mode d'utilisation du niveau de chantier et de la mire, b) le tracé en plan d'un exemple de mise en œuvre.

Cet outil robuste est facile d'utilisation et présente l'avantage d'être déjà mobilisé dans le cadre du protocole Carhyce. Cependant, il rencontre plusieurs limites :

- la visée et la lecture s'avèrent difficiles à plus de 50 mètres ;
- le « champ de vision » du niveau en termes d'altitude est limité et il faut fréquemment réaliser des reports de niveau dans les zones de forte pente ;
- les données récoltées sont relatives à la position du pivot et ne peuvent pas être géoréférencées au moyen de ce seul outil ;
- les données sont notées de façon manuscrite, ce qui peut générer des erreurs de compréhension et de retranscription (biais opérateur).

³⁵ Il est préconisé de se caler à minima sur un repère fixe, idéalement situé en dehors du plein bord (ouvrage maçonné, point NGF.)

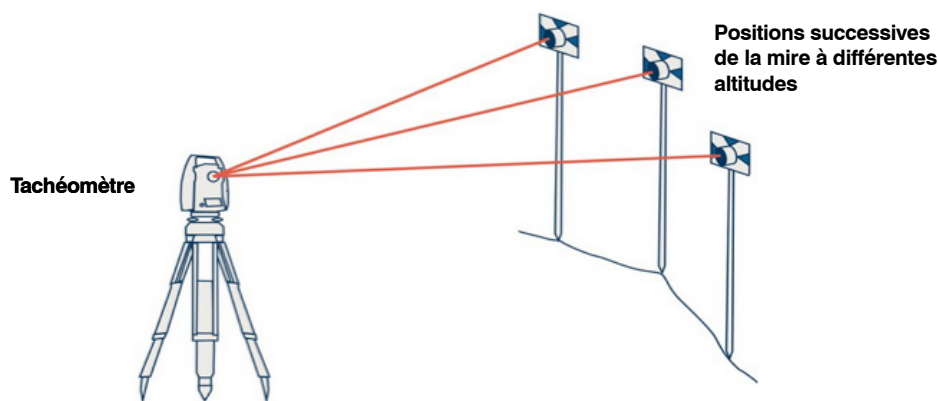


Figure 54 - Utilisation du tachéomètre.

© Crédits projet Cocosrico, Manuelle Philippe et Sébastien Hervé [48].

- Le tachéomètre est un instrument de mesure optique. Il permet de mesurer à la fois des angles et des distances, grâce à trois fonctions :
 - goniomètre : mesure des angles dans les plans horizontaux et verticaux ;
 - clisimètre : mesure des pentes ;
 - stadimètre : mesure des distances (téléporteur laser ou infrarouge).

Un opérateur déplace une mire, que vise un deuxième opérateur à travers le tachéomètre. Les données sont enregistrées au format numérique dans l'appareil, et sont ensuite traitées afin de calculer la position de chaque point de la mire par rapport à celle du tachéomètre. Là encore, les données sont relatives, et il est nécessaire de connaître la position absolue du tachéomètre, pour en déduire les coordonnées précises des points mesurés.

- Le GPS différentiel avec base fixe est une solution qui s'appuie sur deux GPS : l'un est utilisé comme GPS mobile tandis que l'autre est fixe, et sert de relais. Chacun des GPS capte le signal des satellites. Ils sont également en contact par liaison radio, ce qui permet à la base de transmettre les corrections au mobile³⁶. La solution DGPS se compose donc (Figure 55) :
 - de la « base » (1), ou pivot, qui reste fixe tout au long des mesures et enregistre sa position à pas de temps régulier grâce à la liaison GPS avec les satellites captés (2). Il crée donc une multitude de positions, prises en référence à la position initiale à $t = 0$. En effet, les conditions atmosphériques notamment, ainsi que la précision intrinsèque du matériel et des signaux satellites, engendrent une erreur sur la position de la base qui devra être corrigée par post-traitement. Pour ce traitement de données, la base doit être maintenue en place pour une période minimale de 1,5 à 2 heures et ne doit absolument pas être déplacée pendant ce temps, puisqu'elle représente la *référence* qui permettra de donner une précision centimétrique aux mesures réalisées avec le deuxième GPS, appelé « mobile » (3) ;
 - du mobile qui est un GPS positionné sur une canne d'une certaine hauteur et déplacé par l'opérateur sur le terrain pour la prise de mesure. On peut utiliser simultanément autant de GPS mobiles que nécessaire. Le mobile calcule lui aussi sa position grâce à une liaison GPS avec les satellites captés, à chaque fois que l'opérateur crée un nouveau point de mesure.

Ces deux entités sont en liaison grâce à un signal radio (4), qui permet de transférer les corrections de position en temps réel au mobile [49]. Ce type de matériel peut être configuré de deux manières différentes pour corriger le positionnement : soit la base corrige directement sa position via la souscription d'un abonnement au RTK-Réseau (voir ci-dessous) ; soit les coordonnées de la base sont corrigées en post-traitement,

³⁶ Pour en savoir plus sur le principe de la correction appliquée au signal, voir « Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK) » (CETMEF, 2008).

grâce au réseau GPS permanent de stations relais (RGP) de l'IGN, dont les coordonnées sont connues. Son utilisation peut s'avérer limitée dans les vallées profondes et sous un couvert forestier dense ou par temps nuageux. En effet, ces situations peuvent entraîner des difficultés de liaison téléphonique et/ou satellitaire.

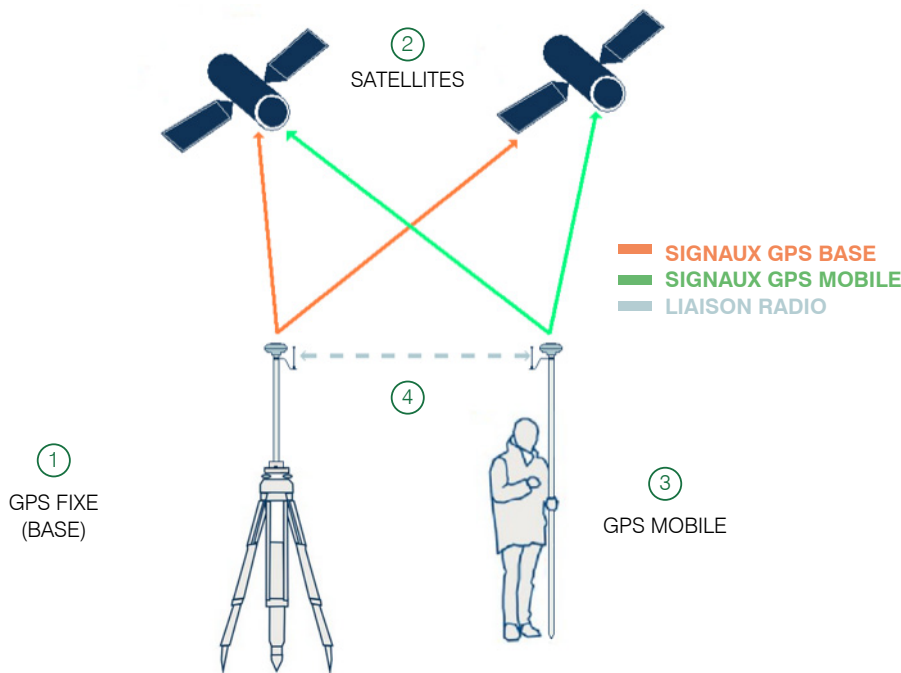


Figure 55 - Méthode du GPS différentiel avec base fixe.

© Crédits projet Cocosrico, Manuelle Philippe et Sébastien Hervé [48].

■ **Le GPS différentiel relié au RTK-réseau** est un second système de GPS différentiel.

Son principal avantage est de s'affranchir de la base. L'idée est que les calculs de correction soient centralisés sur un serveur auquel a accès le GPS mobile grâce à un téléphone portable. Le GPS est en contact avec le téléphone mobile par une liaison Bluetooth. Le serveur - centre de calcul - communique en temps réel les informations au GPS. C'est cette étape qui est techniquement la plus critique. En effet, il arrive souvent que les zones de mesures (rivières, zones humides...) ne soient pas couvertes par le réseau GSM. L'utilisation de ce type de matériel devient alors impossible puisque les corrections ne peuvent être transférées au mobile. Cela constitue un inconvénient majeur. Hormis cela, ce type de technologie présente de nombreux avantages :

- le coût d'achat est réduit puisqu'il ne s'agit plus d'investir dans deux GPS (une base et un mobile), mais dans un seul. Cependant, l'abonnement au réseau de correction (Orpheon³⁷, Sat-Info³⁸ ou Teria³⁹), peut s'avérer plus coûteux pour une couverture nationale avec le réseau Orpheon par exemple ;
- il n'y a plus de contrainte liée à la liaison radio avec la base et l'opérateur peut se déplacer sans contrainte de distance, ce qui constitue un énorme avantage pour la réalisation de profils en long notamment.

Actuellement, ce genre de matériel est donc bien adapté pour des mesures en zone bien couverte par le réseau GSM, tandis qu'il est préférable d'utiliser un couple base-mobile pour des mesures dans les secteurs où la connexion GSM est peu fiable.

Fréquence et répartition des points

La prise de points se fait dans le fond du lit mouillé, au point le plus bas de la section en travers. Deux possibilités⁴⁰ décrites ci-après s'offrent alors selon le temps disponible, l'ambition du suivi, la finesse du profil souhaitée et le matériel à disposition. Dans tous les cas on veillera à localiser précisément (marquage visuel et géoréférencement) les points de début et de fin de suivi lors de la première campagne. Les opérateurs se recaleront sur ces limites lors des suivis ultérieurs.

³⁷ <http://reseau-orpheon.fr/>

³⁸ <http://www.sat-info.fr/>

³⁹ <https://www.reseau-teria.com/>

⁴⁰ La méthode de prise de point choisie lors de l'état initial sera conservée pour toute la durée du suivi.

- **Prise de points en routine** : dans ce cas, il s'agit de prendre des mesures à intervalles réguliers, fixés a minima à $5 L_{pb}$. On peut améliorer la finesse du profil en réduisant cet écart (multipliant le nombre de points). Il reste cependant essentiel, dans le cadre du suivi, de fixer un écartement entre les points et de s'y tenir au fil des campagnes de mesures.

Exemple

Pour un cours d'eau de 2 m de largeur pleins bords restauré sur un linéaire de 100 m, on obtient un profil en long composé de 10 points au niveau du linéaire concerné par les travaux et 10 points en amont et en aval de ce linéaire, → soit a minima 30 points au total. Pour un cours d'eau de 5 m de large, restauré sur un linéaire de 400 m, on obtient un profil en long composé de 16 points au sein du linéaire concerné par les travaux et 10 points en amont et en aval de ce linéaire, → soit a minima 36 points au total.

- **Prise de points en fonction de la pente** : pour chaque changement de pente du fond du lit, un point GPS est fait. Ce choix de protocole est à privilégier car il permet un recensement fin et exhaustif des modifications de la pente, plutôt que la prise de points en routine qui donne un aperçu plus partiel. Cette méthode est particulièrement recommandée dans le cas des cours d'eau à fond mobile (charriage actif) ainsi que des plus petits cours d'eau. Lorsque certains faciès - notamment les plats lenticulaires ou les plats courants - sont très étendus ($> 4 L_{pb}$) des points intermédiaires peuvent être pris pour mieux caractériser l'homogénéité du fond.

Post-traitement et bancarisation

Les coordonnées obtenues sur le terrain, quelle que soit la solution topographique retenue peuvent être incorporées dans le classeur de bancarisation (fichier « bancarisationPL.xls ») joint à la fiche. Celui-ci permettra de compiler les données relatives au profil en long au fil des campagnes de suivi (1 onglet par campagne).

Suivi des faciès d'écoulement

Définition des faciès d'écoulement

Malavoi et Bravard (2010) [46] définissent par faciès d'écoulement : « [de] petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, de l'échelle de quelques m^2 à quelques centaines de m^2 , sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit et de la ligne d'eau, des profils en travers ». Ces unités hydromorphologiques fondamentales ainsi que leur succession au sein du lit mineur traduisent directement les processus physiques à court terme (érosion/dépôt) et permettent donc d'appréhender la « fonctionnalité » d'un cours d'eau. La diversité des faciès d'écoulement autorise une diversité d'habitats qui favorise elle-même une diversité des biocénoses présentes.

Objectifs du suivi des faciès d'écoulement

Les objectifs du suivi des faciès d'écoulement dans le cadre du SSM sont de pouvoir :

- caractériser l'évolution de la morphologie du lit ;
- quantifier la diversification post-restauration de ces faciès.

Cette diversification, caractérisant une hétérogénéisation des conditions d'habitat, constitue un bon indicateur d'amélioration de la qualité du milieu.

Mise en œuvre du suivi des faciès d'écoulement

En même temps que le relevé altimétrique du lit (profil en long), il est recommandé de renseigner la répartition des faciès d'écoulement suivant la typologie des faciès de Malavoi & Souchon [50]. On s'appuiera pour cela sur la distinction des 6 faciès majeurs (Chenal lentique/Mouille/Plat lentique/Plat courant/Radier/Rapide). L'étendue des différents faciès est mesurée au fil de la progression vers l'aval, grâce au topofil (ou directement noté par des points GPS, le cas échéant). Il est rappelé de bien veiller à localiser précisément les limites amont et aval du suivi, dès la première campagne, afin d'assurer un recouvrement optimal des différents relevés. Le relevé est reporté directement sur la fiche terrain.

Données diachroniques

Certaines données relatives au profil longitudinal peuvent déjà exister et être intéressantes à mobiliser pour mettre en perspective les réajustements morphologiques récents du lit, notamment suite à la restauration :

- études hydrauliques préexistantes (voir syndicat mixtes, EPTB, Archives départementales, associations) ;
- **profils** des grandes Forces Hydrauliques.

https://geodesie.ign.fr/fiches/index.php?module=e&action=e_profils

Bibliographie spécifique

46. Malavoi, Jean-René et Jean-Paul Bravard, 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Physio-Géo. Géographie physique et environnement. 224 pages.
48. Hénaff, Alain, 2014. *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines : guide méthodologique*. Équipe Littoral, environnement, télédétection, géomatique.
49. CETMEF, 2008. *Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK)*. 6 pages.
50. Malavoi, Jean-René et Yves Souchon, 2002. *Standardized description of streams and rivers channel geomorphic units: Qualitative description key and physical measurements*. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture, (365-66): p. 357-372.

Principe

L'hydrologie est définie par le Comité national français de géodésie et de géophysiques (section 6 Sciences hydrologiques) comme l'étude de la distribution et de la circulation de l'eau dans la nature⁴¹.

À toutes les étapes d'une opération de restauration hydromorphologique (diagnostic, dimensionnement, suivi), l'hydrologie du site restauré et de son bassin versant est un élément clé à prendre en compte. La connaissance du régime hydrologique permet d'orienter les choix techniques et certains descripteurs hydrologiques entrent directement dans le calcul du dimensionnement de l'opération de restauration. Par ailleurs, la connaissance de l'hydrologie des sites restaurés durant la phase de suivi est un élément très important à prendre en compte en tant que facteur explicatif des biocénoses et de la morphologie observées.

Les objectifs de cette fiche sont de :

- dresser l'état des lieux des différents types de données hydrologiques facilement mobilisables ;
- proposer une méthode pour appréhender l'hydrologie du site restauré ;
- proposer des pistes de caractérisation de cette hydrologie et de son utilisation dans l'interprétation des résultats des suivis.

Les différents types de données hydrologiques mobilisables

<http://www.irstea.fr/fr/les-hydro-ecoregions-une-approche-fonctionnelle-de-la-typologie-des-rivieres>

HER 1 : <http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/24284d4e-37fa-47a2-85fe-850b37abe5a7>

HER 2 : <http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/40b17d2a-5d4a-48ed-acdd-0728c080598c>

<http://www.irstea.fr/sites/default/files/ckfinder/userfiles/files/RapHERfinal.pdf>

https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/Guide_Jaugeage.pdf

Cette première partie a vocation à rappeler quelques types et sources de données hydrologiques mobilisables pour pouvoir prendre en compte l'hydrologie lors de la phase d'interprétation des données de suivi.

Hydroécorégions et régimes hydrologiques

Le découpage des **hydroécorégions** (HER) a été effectué selon des critères topographiques, climatiques et géologiques qu'il est important de connaître afin de contextualiser l'opération de restauration.

Étape 1 - Déterminer dans quelle hydroécorégion de **type 1** et de **type 2** se situe le site de l'opération de restauration. Ces informations sont disponibles sur l'atlas-catalogue du Sandre.

Étape 2 - Retrouver les caractéristiques hydrologiques de l'hydroécorégion. Ces informations sont disponibles dans l'Annexe 5 (page 113) du **rapport final Irstea sur les HER**.

Étape 3 - Caractériser le type de régime hydrologique du cours d'eau⁴². Afin de caractériser le régime hydrologique on pourra par exemple se reporter à la Figure 3 p.11 du **Guide pour l'exploitation des jaugeages en hydrologie**.

⁴¹ Dictionnaire français d'hydrologie de la Commission de terminologie de la CNFSH <http://www.hydrologie.org/glu/indexdic.htm>.

⁴² Ensemble des variations, à toutes les échelles de temps, caractéristiques du débit d'un cours d'eau ou d'une source. Dictionnaire français d'hydrologie de la Commission de terminologie de la CNFSH <http://www.hydrologie.org/glu/indexdic.htm>

Réponse hydrologique d'un bassin versant et types d'écoulements (d'après le Cours d'hydrologie générale en ligne de l'École polytechnique fédérale de Lausanne du Pr André Musy)

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/>

La réponse hydrologique d'un bassin versant est influencée par une multitude de facteurs tels que ceux liés :

- aux conditions climatiques du milieu ;
- à la pluviosité (répartition spatiale et temporelle, intensité et durée) ;
- à la morphologie du bassin versant (forme, dimension, altimétrie, orientation des versants) ;
- aux propriétés physiques du bassin (nature des sols, couverture végétale) ;
- à la structuration du réseau hydrographique (extension, dimension, propriétés hydrauliques) ;
- aux états antécédents d'humidité des sols.

La réponse hydrologique d'un bassin versant est composée de plusieurs types d'écoulements. Les principaux types d'écoulements sont :

- l'écoulement de surface ou ruissellement, constitué par la frange d'eau qui, après une averse, s'écoule plus ou moins librement à la surface des sols. L'importance de cet écoulement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol, avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, soient prépondérantes ;
- l'écoulement de subsurface ou écoulement hypodermique, qui comprend la contribution des horizons de surface partiellement ou totalement saturés en eau ou celle des nappes perchées temporairement au-dessus des horizons argileux. Ces éléments de subsurface ont une capacité de vidange plus lente que l'écoulement superficiel, mais plus rapide que l'écoulement différé des nappes profondes ;
- l'écoulement de base (ou débit de base) : l'eau transite à travers l'aquifère à une vitesse de quelques mètres par jour à quelques millimètres par an avant de rejoindre le cours d'eau. Cet écoulement, en provenance de la nappe phréatique, est également appelé écoulement souterrain. À cause des faibles vitesses de l'eau dans le sous-sol, l'écoulement de base n'intervient que pour une faible part dans l'écoulement de crue. De plus, il ne peut pas être toujours relié au même événement pluvieux que l'écoulement de surface et provient généralement des pluies antécédentes. L'écoulement de base assure en général le débit des rivières en l'absence de précipitations et soutient les débits d'étiage (l'écoulement souterrain des régions karstiques fait exception à cette règle).

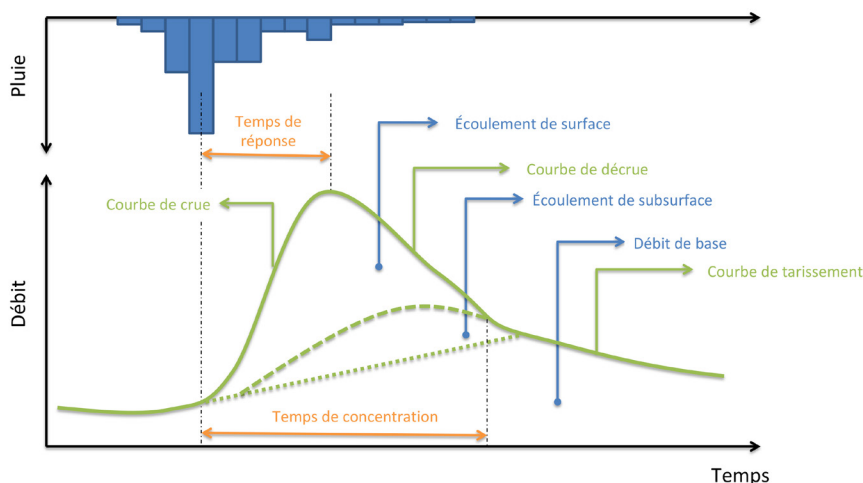


Figure 56 - Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit (d'après A. Musy)

Facteurs anthropiques influençant les régimes hydrologiques

L'hydrologie d'un cours d'eau varie de manière naturelle au cours du temps en fonction de facteurs climatiques et des caractéristiques du bassin versant (Encart 1 et Figure 56). Cette hydrologie peut également être soumise à différentes pressions anthropiques engendrées par des usages, par exemple :

- des prélèvements ;
- l'occupation du sol : selon 5 grands types (territoires agricoles, territoires artificialisés, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surfaces en eau) et 44 sous-types ;
- les infrastructures : réseau routier, ferré, transport d'énergie ;
- les barrages et seuils : interception des écoulements et prélèvements pour le remplissage, éclusées et dérivations...

Ces pressions peuvent affecter le débit en quantité et/ou en dynamique et la connexion du cours d'eau aux eaux souterraines (Encart 2 et Figure 57).

Les travaux menés dans le cadre du projet **Syrah** ont permis d'évaluer de manière indirecte le risque d'altération de l'hydrologie pour chaque tronçon hydromorphologique à partir des pressions s'exerçant sur les cours d'eau. L'examen de ces données pourra permettre d'anticiper d'éventuelles altérations des débits sur le bassin versant et sur le linéaire restauré et d'identifier les pressions menant à ces altérations.

Des méthodes complémentaires pour évaluer les pressions causées par les prélèvements, les dérivations et les éclusées ont été développées par les agences de l'eau Adour Garonne et Rhône Méditerranée Corse.

Banque Hydro

La banque Hydro stocke en différé les mesures de hauteur d'eau (à pas de temps variable) en provenance d'environ 5 000 stations de mesure (dont environ 3 200 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français et permet un accès aux données signalétiques des stations (finalité, localisation précise, qualité des mesures, historique, données disponibles...). Hydro calcule, sur une station donnée, les débits instantanés, journaliers, mensuels et autres, à partir des valeurs de hauteur d'eau et des courbes de tarage (relations entre les hauteurs et les débits). Ces valeurs sont actualisées à chaque mise à jour d'une hauteur ou d'une courbe de tarage (addition, précision supplémentaire, correction...). Hydro fournit les valeurs d'écoulement les plus exactes possibles compte tenu des informations que les gestionnaires des stations lui communiquent.

■ Accès à la banque Hydro

L'existence d'une station hydrométrique sur ou à proximité du linéaire restauré ou bien encore sur un bassin versant voisin (Encart 2 dans Lebecherel *et al.*, 2015 [51]) peut permettre d'extrapoler certains descripteurs hydrologiques par la méthode analogique ou d'avoir une idée de la dynamique des écoulements dans le cours d'eau restauré. La méthode analogique est la méthode la plus simple pour reconstituer un débit à l'exutoire⁴³ d'un bassin non jaugé, elle consiste en la transposition directe du débit d'une station voisine, avec un ajustement correspondant au ratio des surfaces respectives de bassin (voir le chapitre *Acquisition de chroniques de débits simulés* pour plus de détails sur la méthode analogique, son domaine d'application et ses avantages et inconvénients).

<https://bnpe.eaufrance.fr/>

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/atlas-regional-de-l'occupation-des-sols-en-france-clc>

<http://professionnels.ign.fr/bdtopo#-tab-1>

http://carmen.carmencarto.fr/66/ka_roe_current_metropole.map

<http://www.data.eaufrance.fr/jcd/9c86a5da-88f4-4819-a84e-c09a69394a34>

<http://hydro.eaufrance.fr/>

⁴³ Exutoire : section de cours d'eau par laquelle s'écoulent les eaux d'un bassin versant.

Encart n° 2

Exemple d'altération du régime hydrologique sous l'effet de l'urbanisation (d'après Dany, 2016 [14] et Le Pichon et al., 2016[52])

■ *Effets en période de pluie : l'urbanisation, qui s'accompagne d'une augmentation des surfaces imperméabilisées et des réseaux d'évacuation des eaux de pluie, génère de plus forts volumes ruisselés, et accélère les vitesses de ruissellement et les débits de pointe. Ces effets sont significatifs pour des pluies faibles à moyennes. Ces effets provoquent aussi une augmentation de la fréquence des crues courantes et morphogènes.*

■ *Effets sur les écoulements de base (hors période de pluie) : en dehors des périodes de pluie, les effets sur les écoulements persistants sont plus contrastés et non univoques. Il peut se produire une baisse de la recharge en eau du sol et du sous-sol, qui s'accompagne d'une baisse des débits des rivières. Mais, il a aussi été observé une augmentation de la recharge des réserves souterraines et une augmentation des débits des rivières en raison des fuites des réseaux d'eau potable, ou de l'arrosage d'espaces verts et jardins. Par ailleurs, les réseaux enterrés (gaz, électricité, eau...) provoquent des modifications du cheminement de l'eau en raison de leur pouvoir drainant.*

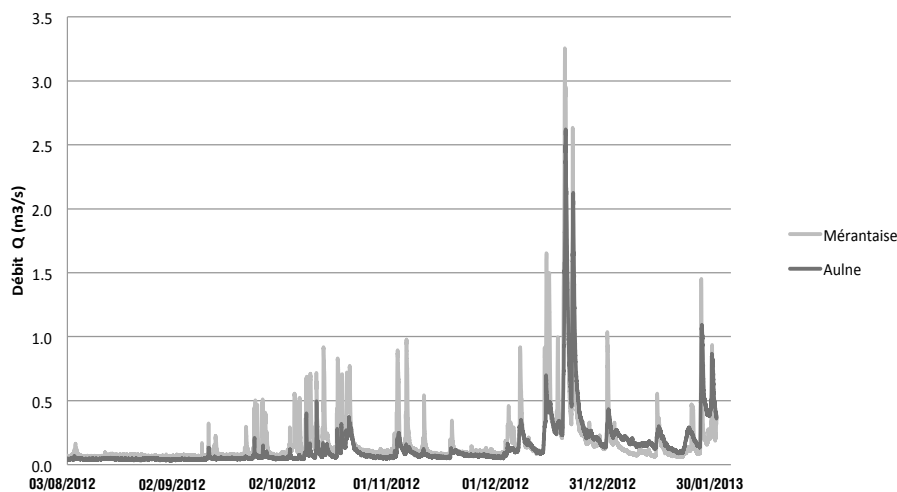


Figure 57 - Exemple de deux cours d'eau du Parc naturel régional de la Haute vallée de Chevreuse.

Des sondes de mesure de pression (sondes Diver de Schlumberger) ont été installées au niveau du pré Bicheret sur la Mérantaise et au niveau du pont du moulin de Béchereau sur l'Aulne. Le graphe des débits sur les deux cours d'eau montre des amplitudes plus importantes sur la Mérantaise. Ceci peut s'expliquer en partie par la géologie et l'usage du sol du bassin versant. Le fond étant imperméable, il y a peu ou pas d'échange nappe/rivière et tout le débit transite de façon longitudinale. De plus, le bassin versant de la Mérantaise présente une urbanisation importante qui génère deux types de pressions augmentant le débit liquide : le rejet des eaux de l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines dans le ru Gironde, en confluence de la Mérantaise et en tête de bassin ; le ruissellement plus important des versants du fait de leur imperméabilisation (routes, parkings...). À l'inverse, l'Aulne est situé sur un substrat plus perméable où les échanges verticaux tamponnent l'effet des crues et restituent l'eau en période d'étiage. Le bassin versant est aussi beaucoup moins urbanisé, avec une tête de bassin très forestière.

Débits issus de modélisation en site non jaugeé (travaux Irstea)

Des chroniques hydrologiques journalières ont été reconstituées au droit de sites d'échantillonnage écologique et/ou de suivi de la qualité de l'eau. Sans prétendre se substituer à une mesure directe des débits, ces reconstitutions visent à fournir des ordres de grandeur concernant les débits journaliers et leur variabilité au cours des jours (et des années) qui ont précédé la mesure de qualité de l'eau ou du milieu. Elles s'appuient sur un modèle hydrologique simple et robuste, mais peuvent néanmoins comporter des erreurs d'origines diverses : imperfection du modèle, données d'entrée biaisées, complexité des hydrologies locales, perturbations anthropiques...

http://carmen.carmencarto.fr/66/AFB_Reconstitution-chroniques-hydrologiques.map

https://www.eaufrance.fr/IMG/zip/cartes_debits_caracteristiques.zip

Ce travail, réalisé par Irstea, est disponible sur le site du projet Carmen. Les fichiers fournissent à chaque station la chronique des débits journaliers de 1959 à 2016 avec son enveloppe d'incertitudes. Il est important de garder en tête que **ces reconstitutions doivent permettre d'évaluer la dynamique des débits journaliers et leur ordre de grandeur, mais les valeurs de débits, en particulier pour les bas débits, sont sujettes à d'importantes incertitudes**. Pour le calcul des valeurs de QMNA5, par exemple, mieux vaut se référer à la **carte de consensus** également issue des travaux de Irstea.

Jaugeages ponctuels réalisés sur le linéaire restauré ou à proximité

En dehors des jaugeages nécessaires à l'établissement des courbes de tarage des stations hydrométriques, différents opérateurs (DREAL, syndicats de rivières, instituts de recherche, conseils départementaux...) sont susceptibles d'avoir réalisé ponctuellement des jaugeages sur le cours d'eau restauré.

Données complémentaires

Laises de crues

Après une crue, des débris peuvent s'accumuler linéairement, marquant le niveau d'eau le plus haut atteint par la crue (Figure 58). La connaissance de la hauteur d'eau maximale atteinte lors du pic de crue donne par exemple **une indication de la connexion du cours d'eau avec son lit majeur**.



© Michel Bramard - AFB

Figure 58 - Exemple de laisse de crue en juin 2016 sur la Claise à Grand-Pressigny.

Témoignages

En l'absence de station hydrométrique, il peut être utile de faire appel aux témoignages de gestionnaires, riverains et d'usagers de la rivière pour obtenir des informations qualitatives sur l'hydrologie de la rivière : étiages, inondations, autant d'événements qui peuvent laisser des traces dans les mémoires.

Stations Onde

<https://onde.eaufrance.fr/>

L'Observatoire national des étiages caractérise les étiages estivaux par l'observation visuelle du niveau d'écoulement de certains cours d'eau métropolitains. Il poursuit le double objectif de constituer un réseau de connaissance stable sur les étiages estivaux et d'être un outil d'aide à l'anticipation et à la gestion des situations de crise.

Le déficit hydrique sur les milieux aquatiques peut être à l'origine d'une fragmentation des milieux, d'une élévation de la température, d'une modification de la qualité physico-chimique de l'eau, d'une modification de la végétation, d'assèchement d'annexes hydrauliques et par conséquent de mortalité de certains organismes peu mobiles (alevins, batraciens...).

La recherche d'une station Onde sur le bassin versant ou à proximité (même HER de type 2 et même type de cours d'eau) et l'examen des données collectées peuvent apporter des **renseignements sur les étiages et les risques d'intermittence du cours d'eau restauré.**

Végétation

La végétation riparienne (implantation, structure, composition) peut également apporter des informations indirectes sur les hauteurs d'eau et les durées d'exondation (Figure 59). En effet, les caractéristiques des cycles exondation/remise en eau telles que leur amplitude, leur rythmicité et leur durée peuvent mener à différentes réponses des communautés végétales en termes de dynamique, de composition et de richesse spécifique [53].

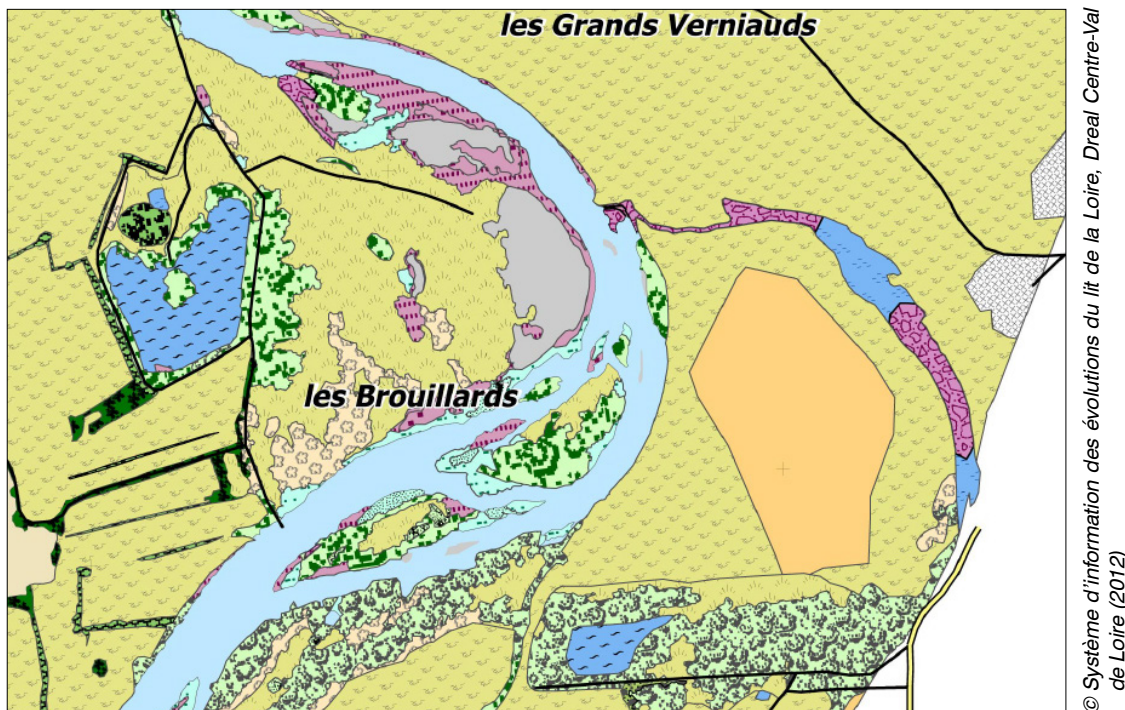


Figure 59 - Exemple de carte de végétation du système d'information des évolutions du lit de la Loire bourguignonne entre l'Allier (03) et la Saône et Loire (71).

Les différentes couleurs et figurés représentent les groupements-types définis dans la typologie simplifiée des communautés végétales du lit endigué de la Loire (Cornier, 1998)[54]. En violet par exemple, les végétations herbacées pionnières typiques du lit mineur. Le figuré vert clair parsemé de tâches vert plus foncé sur les îles de la Loire représente un couvert de bois tendre, ce qui peut être le signe d'une augmentation des durées d'exondation de ces îles.

Stratégie d'acquisition

L'objectif de cette partie est l'acquisition de chroniques hydrologiques et autres données hydrologiques complémentaires, avant et après travaux de restauration. Nous proposons ici un arbre de décision simplifié (Figure 60) permettant de déterminer la méthode *a priori* la plus adaptée en fonction du contexte de l'opération de restauration. À noter que, quel que soit le choix de la méthode, notamment pour l'obtention de chroniques de débits simulés, une confrontation des résultats avec des observations est nécessaire.

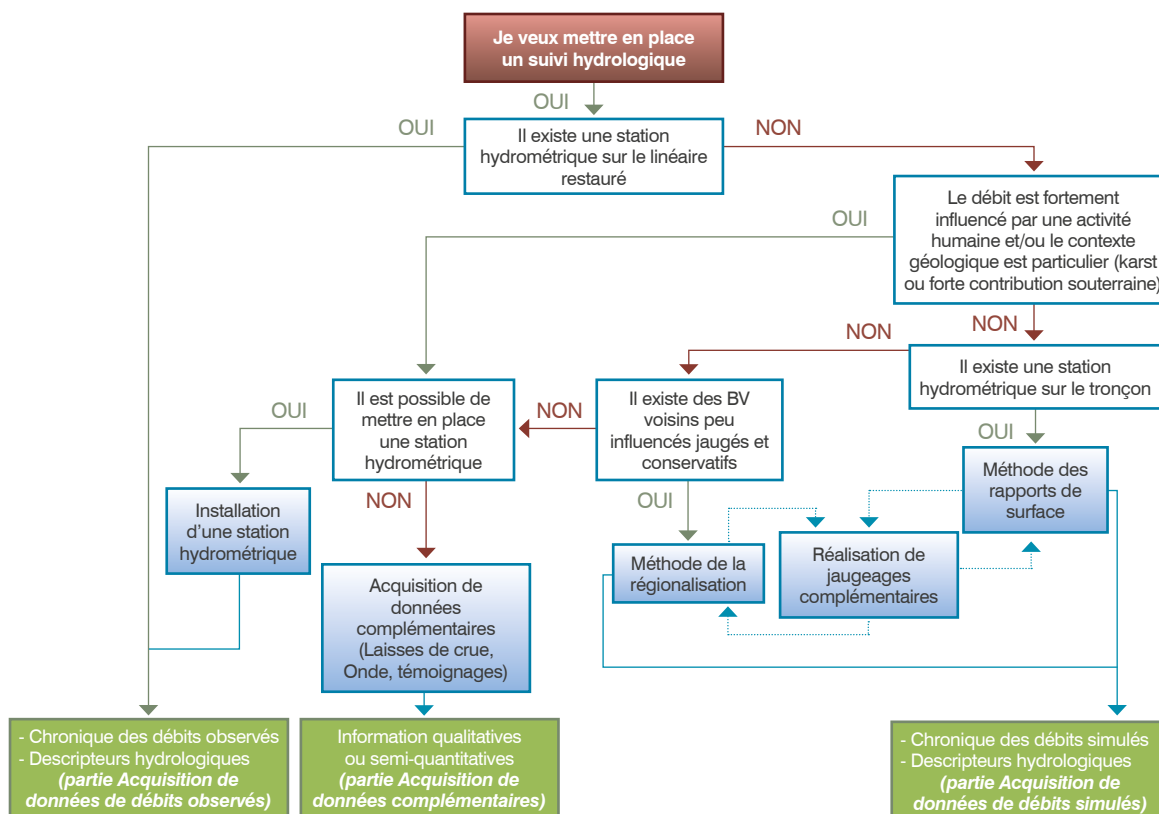


Figure 60 - Arbre de décision simplifié de la stratégie d'acquisition des données hydrologiques nécessaires au suivi des opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau.

Le tronçon considéré dans cette stratégie correspond à un tronçon hydrologiquement homogène, c'est-à-dire ne présentant pas de discontinuité hydrologique majeure d'amont en aval, qu'elle soit d'origine naturelle (confluence, perte karstique...) ou anthropique (prélèvements, dérivations...). En première approximation on pourra utiliser le découpage en tronçons hydromorphologiquement homogènes proposés par Syrah.

Un bassin conservatif (Figure 60) est défini par sa topographie. C'est un bassin sur lequel l'ensemble des pluies efficaces (précipitations diminuées de l'évapotranspiration) atteint l'exutoire, il n'y a pas de transfert souterrain vers d'autres bassins versants.

Acquisition de chroniques de débits simulés

Lorsqu'il n'existe pas de station hydrométrique sur le linéaire restauré ou qu'il est impossible d'en installer une, les débits peuvent, dans certains cas, être simulés par différentes méthodes. Dans le cadre du Suivi scientifique minimal, nous proposons deux méthodes de simulation des débits. Ces méthodes s'appuient sur les données hydrologiques acquises en dehors du linéaire restauré et il faudra garder en mémoire les incertitudes plus ou moins importantes liées à ces méthodes.

<http://www.data.eaufrance.fr/jdd/9c86a5da-88f4-4819-a84e-c09a69394a34>

Méthode du rapport des surfaces de bassin versant (ou méthode analogique)

Lorsqu'il existe une station hydrométrique sur le même tronçon hydromorphologique (référentiel Syrah) que le site de restauration, il est possible d'utiliser la méthode du rapport des surfaces de bassin versant pour extrapoler le débit du linéaire restauré. La méthode du rapport des surfaces de bassin versant, ou encore appelée méthode analogique, est la méthode la plus simple pour reconstituer un débit à l'exutoire d'un bassin non jaugé (Encart 2 dans Lebecherel *et al.*, 2015 [51]). Elle consiste en la transposition directe du débit d'une station voisine jaugée, du même tronçon hydromorphologique par exemple, avec un ajustement au ratio des surfaces respectives de bassin :

$$Q_{\text{non jaugé}} = Q_{\text{jaugé}} \times \frac{S_{\text{non jaugé}}}{S_{\text{jaugé}}}$$

Avec Q en m³.s⁻¹ et S la surface de bassin versant en km².

On parle alors de modèle débit-débit, qui, dès lors que les exutoires sont sur le même tronçon, voire éventuellement des bassins proches, et qu'ils réagissent aux pluies de façon similaire, peut donner des résultats très satisfaisants.

Cependant, cette méthode :

- fait implicitement l'hypothèse que les pluies diffèrent peu entre les sites étudiés ;
- néglige notamment le fait que lorsque le bassin versant augmente, les pointes de crue peuvent être atténuées ou décalées (le rapport des surfaces n'ajuste que les volumes d'eau).

Il est possible et fortement conseillé, afin de valider le choix de la station jaugée, de réaliser des jaugeages ponctuels sur la station non jaugée (voir le chapitre *Utilisation de jaugeages ponctuels pour évaluer et améliorer les débits simulés*).

Méthode de régionalisation

Principe

Il existe une multitude de méthodes de régionalisation et de modèles hydrologiques. Ici, nous proposons une méthode de régionalisation basée sur la proximité géographique car elle est plus facile à mettre en œuvre et montre de bons résultats. Elle est basée sur l'utilisation du modèle GR4J disponible en libre accès sur R. Cette méthode nécessite des compétences pour l'utilisation et l'application des modèles sous R.

L'installation du logiciel R via la [plateforme du projet R](https://cran.r-project.org/) est également requise. Le modèle et les fonctions de calibrations sont disponibles en tapant `install.packages` (« airGR »).

Cette méthode consiste à modéliser le fonctionnement d'un bassin versant non-jaugé à partir d'informations d'autres bassins versants jaugés situés à proximité. Plus précisément, elle repose sur le transfert des paramètres de GR4J de bassins jaugés (bassins donneurs) vers un bassin non jaugé (bassin receveur).

Le modèle GR4J est un modèle pluie-débit [55] à 4 paramètres (X1, X2, X3 et X4), prenant en entrée des chroniques journalières de précipitations et de températures moyennées sur la surface du bassin versant et présentant en sortie des valeurs de débits journaliers.

Cette méthode peut également être utilisée pour prolonger jusqu'à la période actuelle les chroniques hydrologiques reconstituées mentionnées dans le paragraphe *Débits issus de modélisation en site non jaugé (travaux Irstea)*, à condition de disposer des données météorologiques.

<https://webgr.irstea.fr/logiciels/airgr/>

<https://cran.r-project.org/>

Domaine d'application

Le modèle GR4J a été testé sur de larges échantillons de plusieurs centaines de bassins, particulièrement en France mais également aux États-Unis, en Australie, au Brésil, au Mexique ou encore en Algérie. Il peut être utilisé sur des bassins de toutes tailles et dans des contextes variés. Cependant, certains systèmes hydrologiques sont plus difficiles à modéliser car les processus en jeu sont complexes et la structure simple du modèle ne permet pas de les prendre en compte. Il s'agit notamment des karsts, des systèmes avec de forts apports souterrains et des systèmes influencés par des activités anthropiques. Dans ces cas-là, les performances du modèle sont fortement dégradées.

Dans le cas des bassins avec influence nivale, définis comme ayant une part de précipitations solides supérieure à 10 %, il est nécessaire d'activer le module de neige Cemaneige, deux paramètres doivent alors également être régionalisés. Pour plus d'informations, le lecteur pourra se référer au rapport de Brigode *et al.* [56].

Données nécessaires

Les données nécessaires et leurs caractéristiques sont résumées dans le Tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10 - Description des variables nécessaires à la mise en place du modèle GR4J

Données nécessaires	Résolution	Pas de temps	Accès - Liens
Précipitations	BV contributif + BV contributifs aux stations voisines	Journalier	Réanalyses SAFRAN - 8km x 8km - Météo-France
Températures ou évapotranspiration potentielle			Réanalyses SAFRAN - 8km x 8km - Météo-France
Débits	Stations voisines		Banque hydro (http://hydro.eaufrance.fr/)

À court terme, un catalogue de paramètres utilisés pour la simulation de bassins jaugés sera disponible au sein du package « airGR ».

Description des étapes

Cinq étapes sont nécessaires afin d'obtenir la chronique de débits simulés pour un bassin non jaugé (Figure 61).

- Étape 1 - Sélection d'au moins cinq bassins versants jaugés « donneurs »
- Étape 2 - Calage du modèle à partir des bassins donneurs
- Étape 3 - Recalcul du paramètre X4
- Étape 4 - Réalisation des simulations à partir des paramètres des bassins donneurs
- Étape 5 - Réalisation de la moyenne des simulations en fonction de leur distance au bassin receveur

Pour une description détaillée de ces étapes, se reporter à l'Annexe 1 de cette fiche.

La publication par Irstea du catalogue de paramètres des bassins jaugés est programmée. Par conséquent, l'étape 2, la plus fastidieuse, pourra être supprimée et la démarche en sera facilitée. Dans le cas d'une prolongation des chroniques hydrologiques reconstituées mentionnées dans le paragraphe *Débits issus de modélisation en site non jaugé (travaux Irstea)*, les bassins « donneurs » sont définis en en-tête des fichiers de chroniques, l'utilisateur peut ainsi directement passer à l'étape 3.

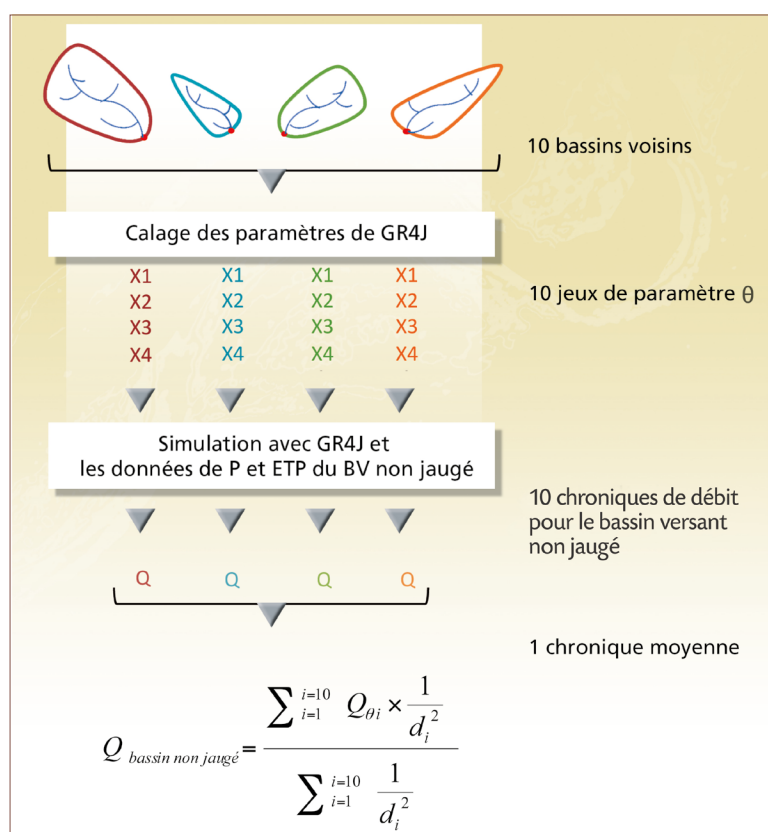


Figure 61 - Schéma explicatif de la méthode de régionalisation basée sur la proximité géographique. (LeBecherel et al. [51])

Utilisation de jaugeages ponctuels pour évaluer et améliorer les débits simulés.

Acquisition de jaugeages ponctuels : réalisation de jaugeages.

Il existe quatre grandes catégories de méthodes pour réaliser un jaugeage : les méthodes « d'exploration du champ des vitesses », les méthodes « volumétriques », les méthodes par dilution d'un traceur et les méthodes hydrauliques. Les méthodes d'exploration du champ des vitesses sont les plus utilisées et font appel à un panel de nouvelles techniques reposant sur diverses technologies (acoustique, électromagnétique, méthodes non intrusives type radar et vidéo). Le matériel nécessaire, sa mise en place et l'exploitation des résultats pour déterminer le débit d'une rivière sont décrits en détail dans le chapitre 4 de la [charte hydrométrique](#).

Le choix de la section de mesure se fera en suivant les préconisations du guide Carhyce [19]. L'utilisation de données de jaugeages ponctuelles permet d'acquérir une vision critique des données issues des modèles et peut améliorer leurs performances. Dans le cas de la méthode de régionalisation par exemple, une vingtaine de jaugeages ponctuels correspond à un optimum à réaliser pour estimer les débits lorsqu'il n'y a pas de stations de mesure [51]. Cela permet en effet d'améliorer significativement les performances du modèle. On conseille par exemple de réaliser avant travaux au moins deux jaugeages dans des conditions hydrauliques différentes puis, après travaux, deux ou trois jaugeages par an dans des conditions hydrauliques diversifiées et ce tout au long de la durée du suivi.

http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCIDR/doc/IFD/IFD_REFDOC_0536936

Acquisition de jaugeages ponctuels : jaugeages issus de Carhyce.

Dans le cadre du suivi hydromorphologique et de la mise en œuvre du protocole Carhyce (voir *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]* et le *guide Carhyce [19]*), des jaugeages sont réalisés aux différentes stations de suivi.

En suivant les préconisations du Suivi scientifique minimal, durant le suivi, le protocole Carhyce est mis en œuvre au moins 5 fois, donc 5 jaugeages en période d'étiage doivent être réalisés. Si l'on choisit de réaliser une simulation de l'hydrologie et que l'on souhaite améliorer les performances de cette simulation et réduire les incertitudes, il est conseillé de réaliser une quinzaine de jaugeages supplémentaires dans des conditions hydrauliques diversifiées tout au long de la durée du suivi. Avant travaux, on conseille notamment de réaliser au moins un jaugeage supplémentaire au jaugeage issu de Carhyce, dans des conditions de débit supérieur. Le reste des jaugeages sera réparti tout au long de la durée du suivi dans des conditions hydrauliques diversifiées.

Évaluation et amélioration des débits simulés

Les jaugeages ponctuels peuvent tout d'abord permettre de donner une indication sur la qualité des chroniques de débits simulés. En positionnant les jaugeages ponctuels sur la chronique, il est possible d'évaluer si le modèle tend à sous-estimer ou à surestimer les observations.

Une fois cette évaluation réalisée, il est possible d'améliorer les performances des simulations par régionalisation en utilisant ces jaugeages ponctuels (voir annexe 2 de cette fiche).

Acquisition de données de débits observés

Utilisation d'une station hydrométrique existante

Lorsqu'une station hydrométrique existe sur le linéaire restauré, il faut récupérer les données acquises par cette station afin de pouvoir disposer des chroniques des débits observés durant la durée du suivi.

Les données des 3 200 stations hydrométriques en service gérées par l'État sont accessibles sur le site de la [banque Hydro](#).

Outre les stations hydrométriques gérées par l'État, il peut également exister des stations hydrométriques gérées par d'autres opérateurs (syndicats de rivières, instituts de recherche...).

<http://hydro.eaufrance.fr/>

Installation d'une station hydrométrique

L'installation d'une station hydrométrique sur le linéaire restauré reste la meilleure option pour obtenir des données de suivi de l'hydrologie de qualité. Sur certains bassins versants (débit fortement influencé par les activités humaines, karst, forte contribution des eaux souterraines...), l'installation d'une station hydrométrique est la seule solution pour obtenir des chroniques de débits suffisamment fiables permettant d'aider à l'interprétation des données du suivi biologique et hydromorphologique.

Dans le cadre du réseau hydrométrique français, on estime que la création d'une station hydrométrique coûte initialement environ 25 000 € et que son coût annuel de fonctionnement (maintenance, téléphone, alimentation électrique...) revient à environ 1 000 € [51]. Des solutions beaucoup moins coûteuses et plus légères peuvent également être mises en œuvre comme la pose de sondes de pression, qui permettent d'acquérir des données à des pas de temps infra-horaires (Figure 57). Elles nécessitent cependant une certaine expertise lors de la mise en place, un entretien régulier et du recul par rapport aux données brutes qui en sont issues. Par ailleurs, les sondes de pression mesurent une pression absolue soit celle de la colonne d'eau à laquelle s'ajoute la pression atmosphérique, il faut donc impérativement mettre en œuvre une sonde barométrique en parallèle, pour pouvoir obtenir par soustraction des valeurs de hauteurs d'eau correctes (non influencées par les variations météorologiques).

La charte **qualité de l'hydrométrie** est un guide des bonnes pratiques et donne notamment des éléments concernant le choix du site à instrumenter ou les différents types de matériels disponibles.

http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/ACCIDR/doc/IFD/IFD_REFDOC_0536936

Acquisition de données complémentaires

Mise en place du protocole Onde/En quête d'eau

Sur les cours d'eau aux étiages naturellement sévères ou soumis à des pressions de prélèvements importantes, ou plus généralement si un risque d'intermittence est suspecté, il est préconisé de mettre en place le **protocole d'observation des étiages** précédemment cité. En fonction du linéaire restauré et des observations réalisées, une ou plusieurs stations pourront être positionnées sur le site.

La bancarisation des données s'effectuera dans l'application web **En quête d'eau**.

<http://enquetedeau.eaufrance.fr>

<http://www.reseau.eaufrance.fr/ressource/tutoriel-en-quete-eau>

<http://www.reseau.eaufrance.fr/projet/observatoire-national-etiages>

Laisse de crues

Après une crue, des débris peuvent s'accumuler linéairement, marquant le niveau d'eau le plus haut atteint par la crue (Figure 58 page 141). La connaissance de la hauteur d'eau maximale atteinte lors du pic de crue donne par exemple **une indication de la connexion du cours d'eau avec son lit majeur**.

Dans le cadre d'un suivi, il peut être intéressant d'aller repérer d'éventuelles laisses de crue le long du linéaire restauré et de renseigner leur localisation et leur altitude.

Utilisation d'outils de sciences participatives

De nouveaux outils de sciences participatives peuvent permettre d'acquérir des informations sur les débits des cours d'eau, tels que :

- Crowdwater. Cette application Suisse gratuite pour smartphones, mise au point dans le cadre d'un doctorat, permet de collecter 4 types de données :
 - la hauteur d'eau,
 - le débit,
 - l'humidité du sol,
 - les conditions d'écoulement des cours d'eau temporaires ;
- Discharge.ch. Cette application pour smartphone est disponible en différentes versions dont une gratuite et basée sur la détermination de la vitesse du courant pour une section donnée et permettant d'appréhender la hauteur de l'eau et le débit.

Ces outils peuvent être intéressants car leur mise en œuvre se fait depuis le haut de la berge. Ils peuvent fournir des éléments complémentaires d'informations sur les débits. Ils nécessitent cependant une certaine habitude afin d'être utilisés correctement et leurs résultats sont à manier avec précautions car les sources d'incertitudes sont nombreuses (mesure sur le terrain, hypothèses retenues, choix techniques...). Par ailleurs, ces outils ne bénéficient pas de nombreux retours d'expériences.

Contextualisation hydrologique des données de suivi des opérations de restauration

La connaissance de l'hydrologie des sites restaurés est un élément très important à prendre en compte, que ce soit lors de la phase diagnostic pour aider à prédire les effets probables de la restauration, ou durant la phase de suivi pour aider à comprendre les effets observés de l'opération de restauration.

Les chroniques de débits, qu'elles soient mesurées ou reconstituées, doivent donc être prises en compte lors de l'interprétation des données collectées sur les autres compartiments. En effet, les variations de débits sont un des facteurs explicatifs majeurs des peuplements en place et de l'hydromorphologie observée.

Concernant la biologie, la période à laquelle se produisent les crues, leur importance et leur fréquence influent sur le succès reproducteur des différentes espèces, se répercutant ainsi sur les peuplements observés de l'année voire des années suivantes. Par ailleurs, l'intensité et la durée de l'étiage influenceront sur les hauteurs d'eau, la température de l'eau et la physico-chimie, ce qui impactera aussi les communautés.

Les variations de débits peuvent aussi être à l'origine d'un biais dans l'échantillonnage des peuplements, si une crue s'est produite peu de temps avant les prélèvements (espèces ayant dérivé en aval ou s'étant déplacées vers des zones refuge).

Il faudra également être attentif aux chroniques de débits observées lors de la phase travaux : une crue durant les opérations de terrassement peut entraîner de grandes quantités de particules fines et provoquer des phénomènes de colmatage à l'aval.

Les chapitres ci-après proposent des éléments de méthode pour la contextualisation hydrologique des données de suivi des opérations de restauration.

Afin de faciliter la mobilisation des données et la mise en graphique des résultats, cette fiche est accompagnée d'un classeur Excel permettant d'importer des données hydrologiques issues d'observation ou simulées (chroniques ou jaugeages ponctuels), des données de pluviométrie et de température, ainsi que de visualiser les dates des opérations de prélèvement (biologie, physico-chimie et hydromorphologie) dans les chroniques de débits. Le manuel d'utilisation de ce classeur Excel est disponible en annexe 3 de cette fiche.

À titre d'information, le temps initial de prise en main de l'outil Excel est d'environ 1 h à 1 h 30.

Caractérisation de l'hydrologie

À toutes les étapes d'une opération de restauration (de la phase diagnostic au suivi, en passant par sa conception et son dimensionnement), il est important de réussir à comprendre la réponse hydrologique d'un bassin versant car cela permet :

- d'estimer les événements hydrologiques (crues et étiages) susceptibles d'influencer les réponses hydromorphologiques et biologiques ;
- d'estimer la dynamique saisonnière du bassin versant ;
- de déterminer les facteurs influençant cette dynamique.

Pour cela, il est proposé de produire des graphiques qui permettent de replacer les dates des opérations de suivi dans le contexte hydrologique annuel et pluriannuel, ou en focalisant sur la période d'étiage.

Pour chacun de ces graphiques, des indicateurs statistiques différents sont proposés.

- À l'échelle annuelle et pluriannuelle :
 - le **module** : débit moyen pluriannuel,
 - le **débit moyen mensuel** donne une idée du régime moyen du cours d'eau,
 - la **crue biennale** (Q_2) est utilisée comme valeur approchée du débit de plein bord⁴⁴,
 - la **crue décennale** (Q_{10}) de période de retour 10 ans ou crue débordante, qui représente une crue assez conséquente mais qui reste relativement fréquente⁴⁴ ;
- À l'étiage :
 - le **VCN10 quinquennal sec** (débit minimal sur 10 jours consécutifs de fréquence une année sur 5) permet de caractériser des situations d'étiage plus sévères que le QMNA5. Il représente un bon descripteur des risques environnementaux estivaux (moyenne sur une durée plus courte que le QMNA5),
 - le **QMNA5** (débit moyen mensuel minimum de fréquence quinquennal sec) est défini dans le code de l'environnement (article R 214-1) comme le débit de référence d'étiage. C'est un débit statistique qui donne une information sur la sévérité de l'étiage.

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.o?idArticle=LEGIAR-TI000025800815&cidTexte=LE-GITEXT000006074220>

Le QMNA5 est notamment utilisé pour le traitement des dossiers réglementaires sur les rejets et les prélèvements dans les eaux de surface (IOTA) ou pour la détermination des pressions des usages sur les masses d'eau dans le cadre de la DCE.

Contextualisation hydrologique pluriannuelle

La visualisation de l'ensemble de la chronique disponible permet d'identifier les événements hydrologiques marquants, en particulier les crues.

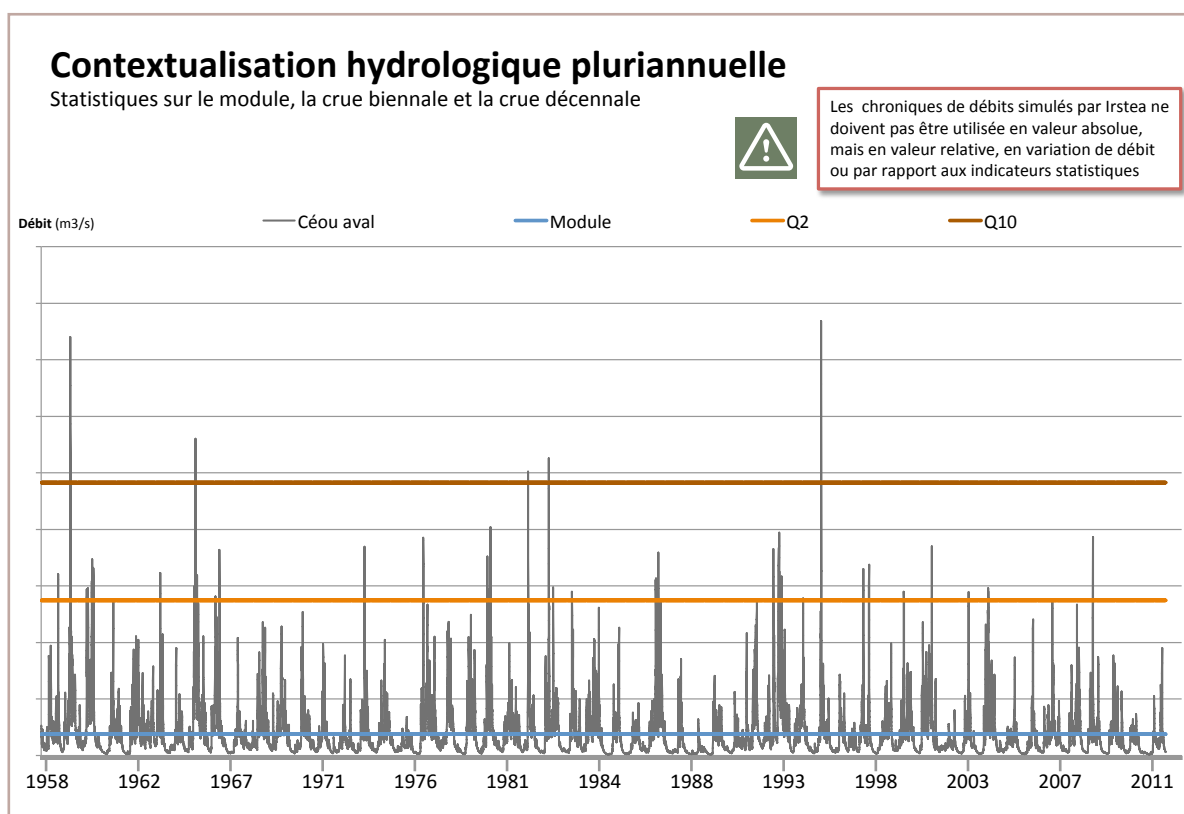


Figure 62 - Exemple de chronique hydrologique pluriannuelle sur le Céou aval (source des données : reconstitution de chroniques hydrologiques Irstea sur le site du projet Carmen http://carmen.carmencarto.fr/66/AFB_Reconstitution-chroniques-hydrologiques.map)

Contextualisation hydrologique annuelle et à l'étiage

Dans l'exemple ci-après (Figure 63, le Cher à Châteauneuf en 2006), l'opération de suivi de mars (rond vert) a été réalisée quelques jours après une crue décennale. Ce contexte peut aider à comprendre les résultats du suivi qui aura été réalisé ce jour-là.

⁴⁴ Le débit de plein bords est celui ayant la plus forte influence sur l'hydromorphologie du cours d'eau (transport solide, forces tractrices, débit de mise en mouvement des particules...). Il se situe généralement entre la crue annuelle et la crue biennale. Le Q2 (crue biennale) utilisé dans le tableur excel représente le débit de crue journalier de période de retour deux ans et le Q10 (crue décennale) utilisé dans le tableur excel le débit de crue journalier de période de retour dix ans, estimés à partir de la loi de Gumbel.

La Figure 64 permet de visualiser que l'opération réalisée en août a eu lieu au cœur de l'étiage, mais avec un débit situé au-dessus du QMNA5. L'étiage n'était donc pas particulièrement sévère.

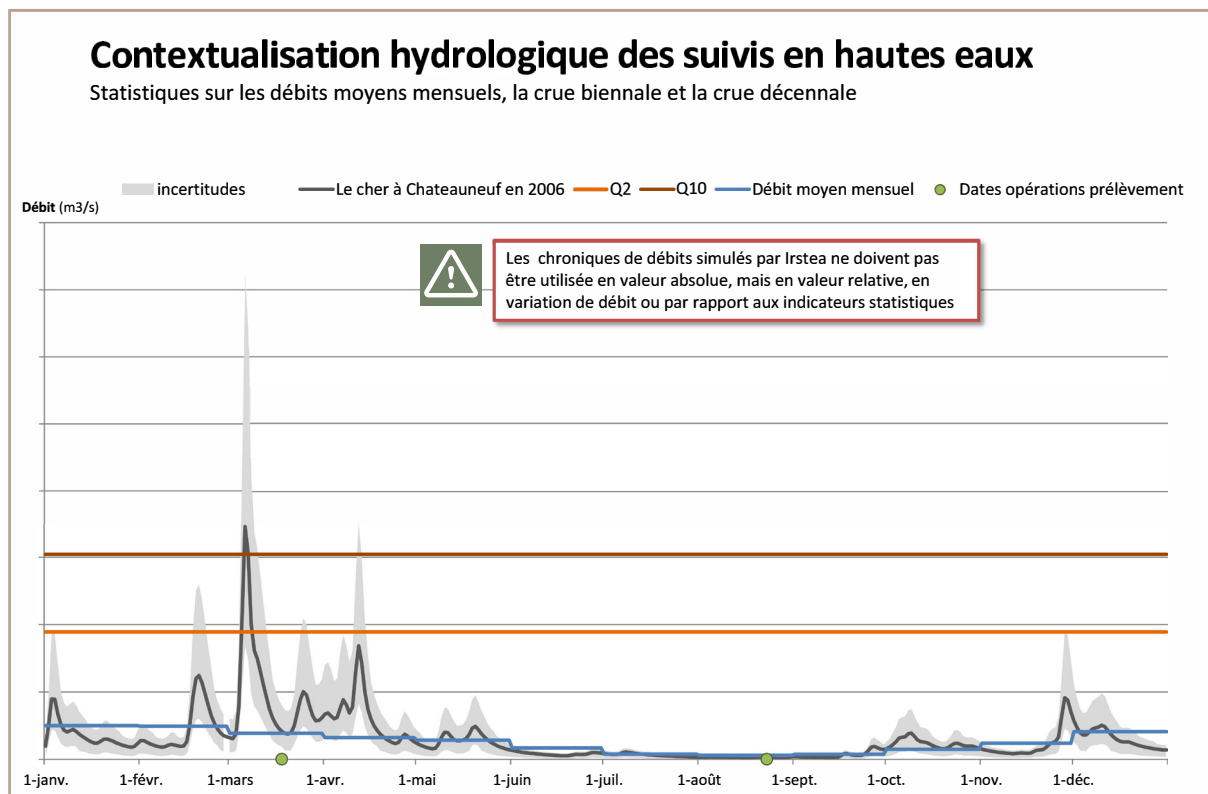


Figure 63 - Exemple de contextualisation hydrologique des suivis en hautes eaux sur le Cher à Châteauneuf en 2006 (source des données : Reconstitution de chroniques hydrologiques Irstea sur le site du projet Carmen http://carmen.carmencarto.fr/66/AFB_Reconstitution-chroniques-hydrologiques.map)

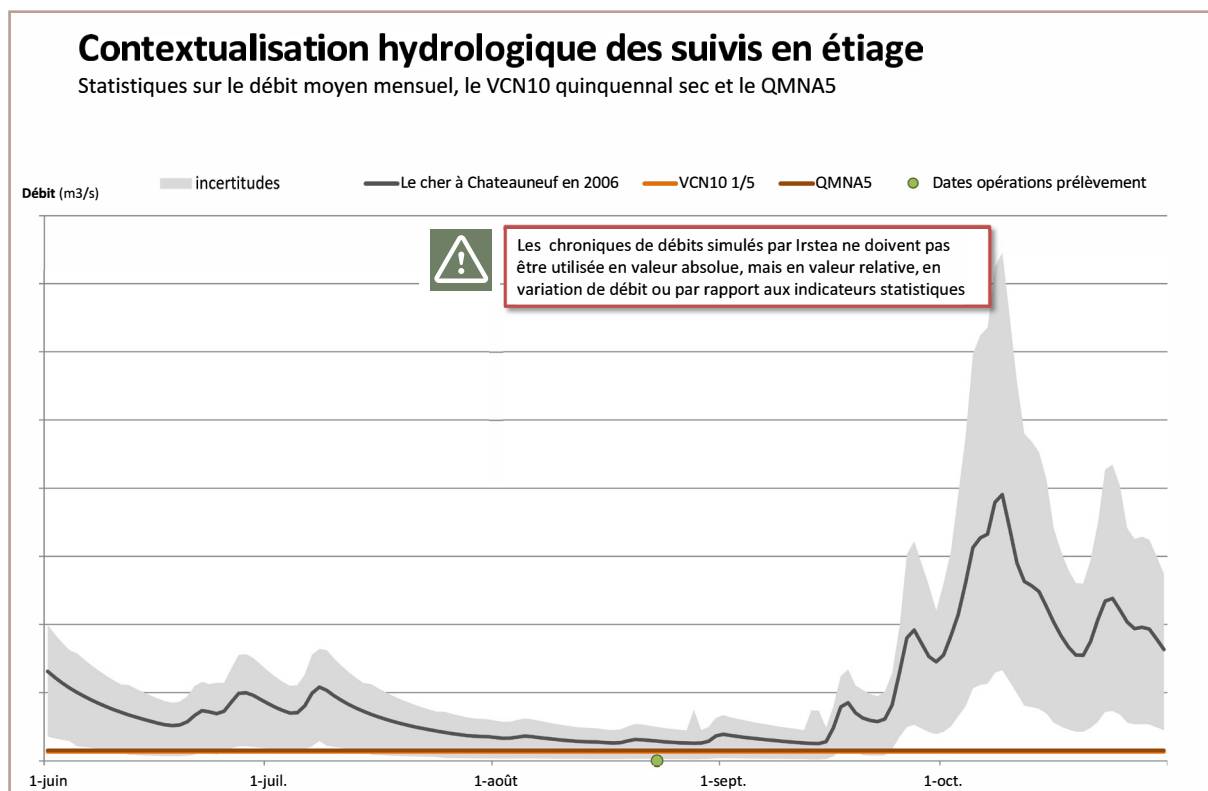


Figure 64 - Exemple de contextualisation hydrologique des suivis en étiage sur le Cher à Châteauneuf en 2006 (source des données : Reconstitution de chroniques hydrologiques Irstea sur le site du projet Carmen http://carmen.carmencarto.fr/66/AFB_Reconstitution-chroniques-hydrologiques.map)

14. Dany, Aude, 2016. *Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau : éléments de connaissance*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 304 pages.
51. Lebecherel, Laure, Vazken Andréassian, Bénédicte Augeard, Eric Sauquet, et Clotilde Catalogne, 2015. *Connaître les débits des rivières : quelles méthodes d'extrapolation lorsqu'il n'existe pas de station de mesures permanentes ? Comprendre pour agir*. Onema. 28 pages.
52. Le Pichon, Céline, et al., 2016. *Suivi de l'efficacité de restauration de la continuité écologique, Cas des rivières du Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse*. Irstea. 114 pages.
53. De Wilde, Mélissa, 2014. *Consequences of dewatering for aquatic plant communities and the functioning of riverine wetlands*. Thèse de doctorat, Biodiversité et Ecologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2014. NNT : 2014LYO10275.
54. Cornier, Thierry, 1998. *Essai de typologie écologique des communautés végétales du lit de la Loire*. Université François Rabelais, DIREN Centre, Orléans. 47 pages.
55. Perrin, Charles, Claude Michel, et Vazken Andréassian, 2003. *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology, 279(1): p. 275-289.
56. Brigode, Pierre, Vazken Andréassian, François Bourgin, et Florent Lobligeois, 2014. *Reconstitution ponctuelle de chroniques hydrologiques incomplètes ou manquantes par modèle pluie-débit*. Irstea. 25 pages.
19. Baudoin, Jean-Marc, et al., 2015. *CARHYCE : CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau - Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur des cours d'eau prospectables à pied*. Guides et protocoles. Agence française pour la biodiversité.
57. Nash, J. E. et J. V. Sutcliffe, 1970. *River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles*. Journal of Hydrology, 10(3): p. 282-290.
58. Rojas Serna, Claudia, Laure Lebecherel, Charles Perrin, Vazken Andréassian, et Ludovic Oudin, 2016. *How should a rainfall runoff model be parameterized in an almost ungauged catchment? A methodology tested on 609 catchments*. Water Resources Research, 52(6): p. 4765-4784.

Méthode de régionalisation

- **Étape 1** - Sélectionner un *pool* d'au moins cinq bassins versants jaugés (N), qui seront dits « donneurs », situés à proximité du bassin versant non-jaugé, dit « receveur ». Cette proximité est définie par une distance pondérée entre les barycentres des bassins versants obtenus à l'aide d'un outil SIG et les exutoires de ces derniers :

$$d = 0,2 \times d_{exutoire} + 0,8 \times d_{barycentre}$$

Cette distance permet d'éviter une différence de taille trop importante entre le bassin « donneur » et le bassin « receveur ». Par exemple, la distance obtenue pour la régionalisation de 12 225 stations est inférieure à 13 km pour 50 % des bassins et peut aller jusqu'à 40 km pour les grands bassins (Rhône, Loire, Rhin [56]). Les bassins versants « donneurs » doivent être conservatifs et les données de débits disponibles doivent être fournies au pas de temps journalier sur une durée d'au moins 6 années hydrologiques avec peu de lacunes.

- **Étape 2** - Caler le modèle sur le *pool* des N bassins « donneurs » sélectionnés, sur au moins 10 ans à partir d'un critère objectif. Nous proposons de prendre le critère de Nash et Sutcliffe (1970)[57] calculé sur les racines carrées des débits :

$$NS = 1 - \frac{\sum(\sqrt{Q_{sim}} - \sqrt{Q_{obs}})^2}{\sum(\sqrt{Q_{obs}} - \sqrt{Q_{obs}})^2}$$

avec Q_{sim} , les débits simulés journaliers et Q_{obs} , les débits observés journaliers.

- **Étape 3** - Le paramètre X4 (temps de base de l'hydrogramme unitaire, exprimé en jours) doit être modifié avant d'être utilisé pour simuler les débits du bassin « receveur », du fait de la dépendance significative entre la valeur de ce paramètre et la surface du bassin versant considéré. La valeur du paramètre X4 est donc recalculée en fonction du rapport entre la surface du bassin receveur ($S_{receveur}$) et la surface du bassin donneur ($S_{donneur}$), selon la formule suivante :

$$X4_{receveur} = X4_{donneur} \times \frac{S_{receveur}^{0.3}}{S_{donneur}}$$

- **Étape 4** - Réaliser N simulations utilisant les paramètres obtenus sur chacun des bassins « donneurs » et prenant en entrée les chroniques journalières de précipitations et de températures du bassin versant « receveur » (Figure 61).

- **Étape 5** - Ces N simulations sont alors moyennées en fonction de leur distance au bassin receveur selon la formule suivante :

$$Q_{receveur} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_{\theta i} \times \frac{1}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}}$$

Une chronique de débits journaliers est ainsi obtenue au site voulu.

Dès la parution du catalogue de paramètres des bassins jaugés dans la banque hydro, l'étape 2, la plus fastidieuse, pourra être supprimée et la démarche sera ainsi facilitée. Dans le cas d'une prolongation des chroniques hydrologiques reconstituées mentionnées dans le paragraphe *Débits issus de modélisation en site non jaugé (travaux Irstea)*, les bassins « donneurs » sont définis en en-tête des fichiers de chroniques, l'utilisateur peut ainsi directement passer à l'étape 3.

Amélioration des simulations par utilisation de jaugeages ponctuels

Les jaugeages ponctuels peuvent tout d'abord permettre de donner une indication sur la qualité des chroniques de débits simulés. En positionnant les jaugeages ponctuels sur la chronique, il est possible d'évaluer si le modèle tend à sous-estimer ou à surestimer les observations.

Une fois cette évaluation réalisée, il est possible d'améliorer les performances des simulations par régionalisation en utilisant ces jaugeages ponctuels.

La méthode proposée ici consiste à combiner une information partielle, fournie par les quelques mesures de débit, avec une information régionale, fournie par la méthode de régionalisation décrite dans la fiche. En particulier, une quantification du poids relatif de l'information locale et de l'information régionale suivant le nombre de jaugeages disponibles sur toute l'année pour l'estimation des débits moyens est proposée.

- **Étape 1** - Classer les jeux de paramètres des N bassins « donneurs » utilisés dans la méthode de régionalisation en fonction de leur proximité géographique. Dans ce cas, on attribue le rang 1 au jeu de paramètres issu du bassin le plus proche et le rang N au jeu de paramètres issu du bassin le plus éloigné. On note r_j^{reg} le rang obtenu pour chaque jeu de paramètre, noté θ_j .
- **Étape 2** - Classer les jeux de paramètres en fonction de l'erreur faite par rapport aux quelques observations existantes sur le bassin. Dans ce cas, le jeu de paramètres présentant la plus petite erreur aura le rang 1, et la plus grande erreur aura le rang N . On note r_j^{loc} le rang obtenu pour chaque jeu de paramètre θ_j .
- **Étape 3** - Combiner les rangs obtenus aux deux premières étapes. Ainsi, on calcule le rang tel que $r_j = \alpha \cdot r_j^{reg} + (1 - \alpha) \cdot r_j^{loc}$
 α est un coefficient pondérateur variant entre 0 et 1 et dépend essentiellement du nombre de jaugeages existants (voir la figure 18 du guide Lebecherel [51]). Une étude sur 609 bassins [58] a montré qu'à partir d'une vingtaine de jaugeages disponibles, l'information de ces jaugeages devient prépondérante par rapport à l'information issue des stations voisines et α est alors nul.
- **Étape 4** - Sélectionner ensuite les p jeux de paramètres présentant les meilleurs rangs r_j . Les simulations avec ces p jeux de paramètres doivent être réalisées puis moyennées pour obtenir la chronique journalière de débits au point voulu.

Cette méthode est plus complexe qu'un simple re-calage des paramètres, qui minimiserait l'erreur faite par rapport aux jaugeages ponctuels, mais elle offre l'avantage d'être beaucoup plus robuste, avec une dépendance moindre à l'erreur de mesure de débit.

Manuel d'utilisation du fichier de contextualisation hydrologique des suivis de restauration hydromorphologique

Le fichier, fourni en annexe du guide, se nomme « Contextualisation-hydro-V2.xlsx ».

Objectif du fichier

Faciliter la mobilisation des données hydrologiques et la production de graphiques pour l'interprétation des résultats des suivis d'opérations de restauration hydromorphologique des cours d'eau.

Le fichier est proposé sous Excel pour permettre aux utilisateurs de le faire évoluer facilement en fonction de leurs besoins.

Structuration du fichier

Le fichier se compose de 3 types d'onglets, différenciés selon 3 couleurs :

- **Bleu** : données brutes, à renseigner par l'utilisateur ;
- **Violet** : graphiques produits automatiquement ;
- **Orange** : onglets de calcul.

Remplissage des données

Le fichier permet d'accueillir différents types de données :

- hydrologie : chroniques simulées par Irstea (voir *Débits issus de modélisation en site non jaugé [travaux Irstea]*), exports de la Banque Hydro, suivis locaux (jaugeages ou chroniques continues) ;
- pluviométrie et température de l'eau ;
- dates des opérations de suivis à contextualiser.

À noter qu'il n'est pas nécessaire que l'utilisateur renseigne tous les onglets visés ci-dessus. Il faut simplement remplir les onglets pour lesquels l'utilisateur dispose de données pertinentes pour l'analyse.



Éléments préalables sur les critères de choix de données hydrologiques pertinentes pour l'analyse


Pour pouvoir être utilisées pour la contextualisation hydrologique des suivis de restauration, les données mobilisées (chroniques simulées par Irstea, chroniques issues de la banque Hydro, jaugages locaux...) doivent être « comparables » à l'hydrologie du secteur restauré.


Ainsi, il est nécessaire de vérifier que les éléments suivants sont comparables :

- le contexte hydrogéologique (dont la présence ou non de pertes karstiques) ;
- les prélèvements (irrigation, industrie, eau potable) ;
- les influences de grands aménagements hydrauliques (barrages, grands canaux...).

L'utilisateur doit donc évaluer si les données peuvent être ou non mobilisées pour la contextualisation, avant de les intégrer dans le fichier « Contextualisation-hydro-V2.xlsx ».

 Pour que la production automatique des graphiques fonctionne, il est nécessaire de bien suivre les instructions du manuel, en particulier lorsqu'il y a le symbole : 

 Les onglets de calcul sont modifiables pour permettre aux utilisateurs de faire évoluer le fichier. Pour autant, les utilisateurs sont mis en garde sur le fait que des modifications dans ces onglets peuvent provoquer des erreurs dans les formules existantes.

 Le fichier fonctionne avec un séparateur décimal « , » et non « . »

En cas de doute sur la pertinence de mobiliser les données d'une station, il est conseillé aux utilisateurs de renseigner les données de cette station dans le fichier « Contextualisation-hydro-V2.xlsx », sachant que l'onglet « **Graph comparaison stations** » (voir *Comparaison des stations*) permet justement de comparer les différentes données disponibles et de juger de leur pertinence. Il est ainsi possible de tester différentes stations (processus itératif) avant de choisir celle qui est la plus pertinente pour l'analyse.

Débits simulés par Irstea

Le fichier peut accueillir les données de deux stations simulées par Irstea (voir la partie *Débits issus de modélisation en site non jaugeé [travaux Irstea]* de la *Fiche 9 [Hydrologie]*). Cela permet à l'utilisateur de comparer ces deux stations (voir également partie ci-après sur l'interprétation du graphique « comparaison des stations ») dans le cas où l'utilisateur hésite sur le choix entre 2 stations.

Procédure de récupération des données :

- aller sur le [site du projet Carmen](#) ;
- sélectionner les stations en utilisant l'outil « i » + sélection rectangulaire (voir la Figure 65 ci-après) ;

http://carmen.carmencarto.fr/66/AFB_Reconstitution-chroniques-hydrologiques.map

⚠ Pour une bonne utilisation de ces données, il est nécessaire de lire l'avertissement téléchargeable sur cette page du projet Carmen.

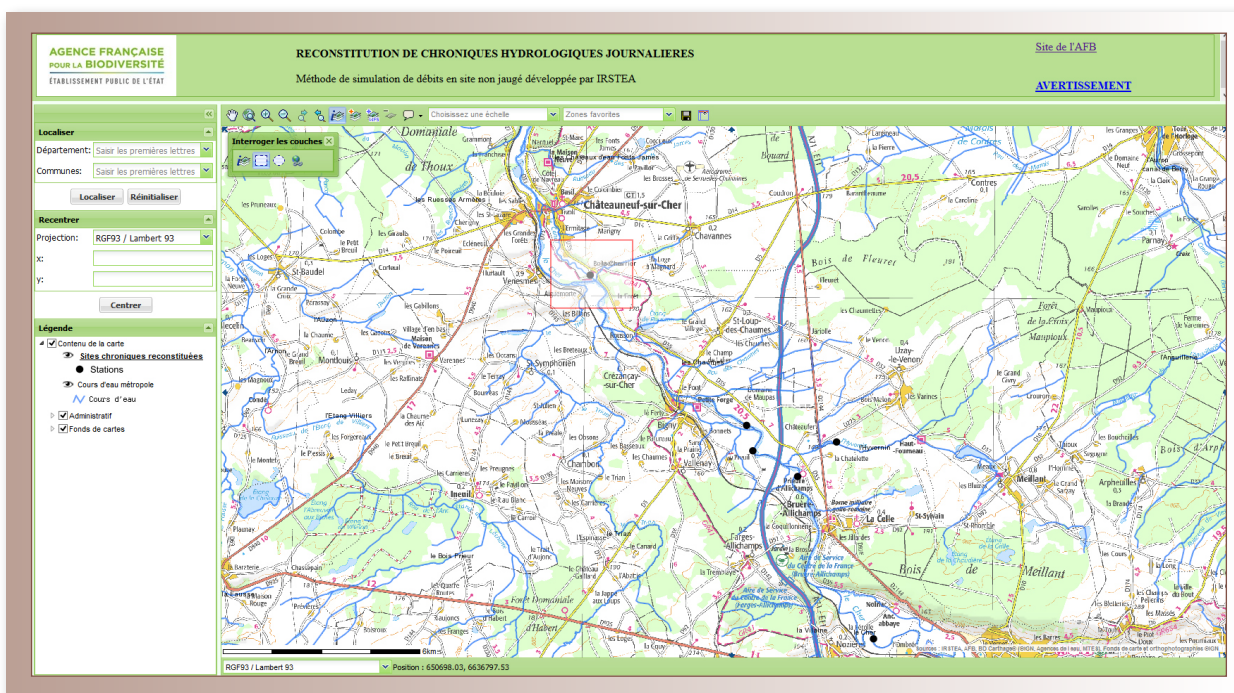


Figure 65 - Sélection des stations sur l'outil cartographique du projet Carmen.

- ouvrir le fichier « .csv » avec Excel ;
- tout sélectionner en cliquant dans le coin en haut à gauche de la feuille de calcul (Figure 66) et copier le contenu ;
- dans le fichier « Contextualisation-hydro-V2.xlsx », cliquer sur la cellule A1 (en vert) de l'onglet bleu « **Station simulée Irstea 1** » ;
- faire « collage spécial - valeur » ;
- donner un nom à la station en remplissant les cases C2 et C3 de l'onglet « liste stations » (cellules en vert). En effet, les stations Irstea n'ont pas de nom explicite (par exemple « La Loire à Orléans ») ni de code Sandre. Il est nécessaire de renseigner le nom des stations pour qu'ils apparaissent dans le menu déroulant des graphiques ;
- répéter si besoin l'opération pour une autre station dans l'onglet bleu « **Station simulée Irstea 2** ».

#			
#	Date de cré	12/02/2018	
#	Créateur	IRSTEA - UR HBAN - Antony	
#	Données d	Livraison SAFRAN Octobre 2016	
#	Fournisseu	Météo-France	
#	Données h	Simulations GR4J	
#	Fournisseu	IRSTEA - UR HBAN - Antony	
#			
#	Code static	4030035	
#	Surface [kn	2390.35	
#	Coordonné	NULL	NULL
#	Coordonné	NULL	NULL
#	Quantiles	Zmin	Z10 Z20
#		237	357 432
#			

Figure 66 - Procédure de copie du contenu des stations sélectionnées.

Données de la Banque hydro

Procédure de récupération des données :

- se connecter à la **banque hydro** ;
- sélectionner une station de la banque hydro ;
- cliquer sur « exporter », choisir « Trame sandre » dans le format de données, puis cliquer sur QJM (Figure 67) ;
- choisir la période (attention le fichier est prévu pour accueillir des données à partir de 1999) puis valider ;
- télécharger le fichier « .zip » disponible dans la page d'accueil de la banque Hydro ;
- l'ouvrir avec le « bloc-note », tout sélectionner, copier et coller dans la cellule A1 de l'onglet bleu « **MesureBanqueHydro** » du fichier de contextualisation hydro ;
- dans le menu « Données » d'Excel, cliquer sur « Convertir » en choisissant les options « type de données délimitée » et « séparateurs point-virgule ».

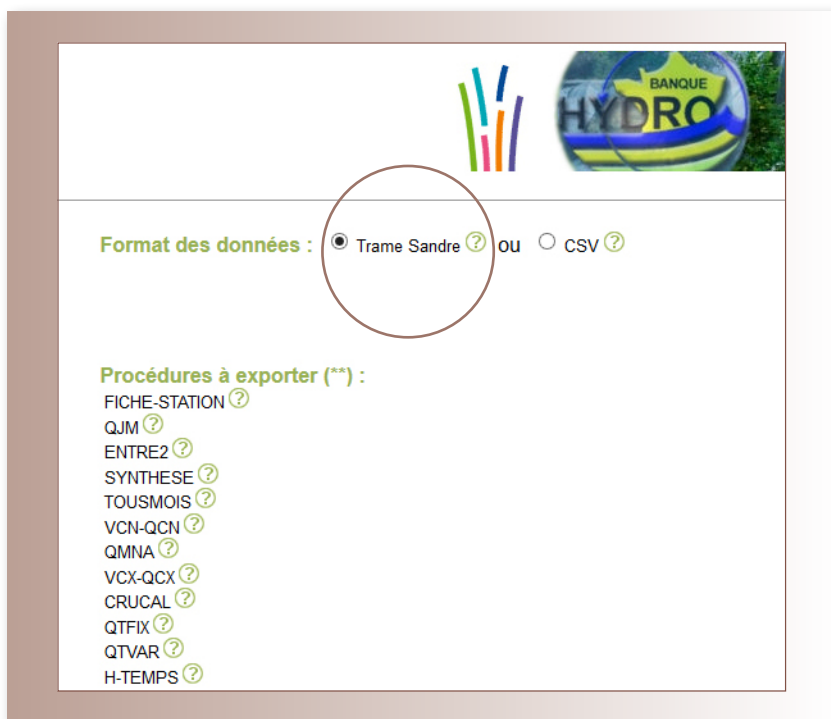


Figure 67 - Banque hydro - sélection des formats d'export

Une fois les débits journaliers renseignés dans le fichier « Contextualisation-hydro-V2.xlsx », il est proposé de renseigner également les principaux indicateurs statistiques de la station. Ces indicateurs serviront par la suite pour l'analyse des débits aux dates des opérations de prélèvements.

Procédure :

- aller sur la **recherche de stations** de la banque hydro ;
- cliquer sur « SYNTHESE » pour accéder aux principaux indicateurs statistiques de la station ;
- remplir les cases G4 à W4 de l'onglet « **Liste stations** » du fichier Excel à partir des données de la « fiche de synthèse » de la station (voir les figures 68 à 71 ci-après).

⚠ Pour accéder à ces données, il est nécessaire d'avoir un compte sur la Banque hydro. Pour s'inscrire sur la Banque hydro, aller sur la page dédiée http://hydro.eaufrance.fr/formulaire_saisie.php et choisir l'option « sans le CD ».

<http://hydro.eaufrance.fr/indexd.php?connect=1>

<http://hydro.eaufrance.fr/selection.php?consulte=rechercher>

<http://hydro.eaufrance.fr/indexd.php>

⚠ Une fois les données intégrées, vous pouvez visualiser quelle est la « validité » associée aux données dans l'onglet « BanqueHydro ». Les valeurs de débit sont surlignées en couleur si la validité est différente de « Bon ». Cette évaluation de la qualité est produite et fournie par la Banque hydro.

<http://www.hydro.eaufrance.fr/selection.php>

Pour les débits moyens mensuels : valeurs indiquées Figure 68, sans les « # »

Ecoulements mensuels (naturels) - données calculées sur 67 ans												
	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Débits (m3/s)	28.00 #	29.50	21.50	19.50 #	17.30 #	10.50 #	4.410 #	2.980 #	4.330 #	8.170 #	13.20 #	22.10

Figure 68 - Débits moyens mensuels de la fiche synthèse.

Dans l'exemple Figure 68, les « # » signifient que les données sont jugées « douteuses » par la banque hydro.

Les codes de validité utilisés par la banque hydro pour les débits moyens mensuels sont :

- + : au moins une valeur d'une station antérieure a été utilisée ;
- P : le code de validité de l'année-station est provisoire ;
- # : le code de validité de l'année-station est validé douteux ;
- ? : le code de validité de l'année-station est invalidé ;
- (espace) : le code de validité de l'année-station est validé bon.

Pour le module :

Modules interannuels (naturels) - données calculées sur 67 ans				
	Fréquence	Quinquennale sèche	Médiane	Quinquennale humide
Débits (m3/s)	10.00 [8.800;12.00]	15.00 [13.00;18.00]	20.00 [19.00;21.00]	

Module (moyenne) : 15.00 [13.90;16.20]

Figure 69 - Module de la fiche synthèse

Pour les indicateurs d'étiage (ligne « Quinquennale sèche ») :

Basses eaux (loi de Galton - janvier à décembre) - données calculées sur 67 ans			
Fréquence	VCN3 (m3/s)	VCN10 (m3/s)	QMNA (m3/s)
Biennale	0.350 [0.290;0.430]	0.480 [0.400;0.590]	0.920 [0.730;1.200]
Quinquennale sèche	0.160 [0.130;0.200]	0.230 [0.190;0.280]	0.350 [0.270;0.450]

Figure 70 - Indicateurs d'étiage de la fiche synthèse.

Pour les crues (ligne « Biennale » et « Décennale ») :

Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données calculées sur 66 ans		
Fréquence	QJ (m3/s)	
Xo	119.000	
Gradex	15.800	
Biennale	140.0 [120.0;160.0]	
Quinquennale	220.0 [190.0;250.0]	
Décennale	270.0 [230.0;310.0]	

Figure 71 - Statistiques des crues de la fiche synthèse.

Le résultat dans l'onglet « Liste stations » du fichier Excel « Contextualisation-hydro-V2.xlsx » est :

BV (km²)	Nb années	Producteur	VCN10 1/5	QMNA5	Q2	Q10	Module	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
4091,97	55	IRSTEA - UR HBAN - Antony																	
58,16	55	IRSTEA - UR HBAN - Antony																	
3490	19	DREAL Centre	0.23	0.35	140	220	15	28,00	29,50	21,50	19,50	17,30	10,50	4,41	2,98	4,33	8,17	13,20	22,10
100		Station du syndicat XX																	
30		SPE																	

Figure 72 - Résultat dans l'onglet « liste stations ».

Autres données hydrologiques

Remplir directement les valeurs de débit moyen journalier dans les cellules surlignées en vert des onglets « [MesureHydro1](#) » et « [MesureHydro2](#) » du fichier Excel. De préférence, pour des questions de mise en forme des graphiques, saisir les données sur des chroniques continues dans l'onglet « [MesureHydro1](#) » et les jaugeages dans l'onglet « [MesureHydro2](#) ».

Une fois les données remplies dans les onglets « [MesureHydro1](#) » et « [MesureHydro2](#) », remplir les cellules E5, E6, F5, F6 (surlignées en vert) de l'onglet « [liste stations](#) » pour renseigner la période sur laquelle des données sont disponibles pour les stations considérées.

Température

Le fichier est prévu pour accueillir deux types de données :


- les stations téléchargeables sur le site [Naiade](#) ;
- les données d'enregistreurs Hobo.

Pour le site Naiades :

- aller sur le site [Naiades](#) ;
- sélectionner la station (ne sélectionner qu'une seule station à la fois) et télécharger les données en .csv ;
- ouvrir le fichier « [naiades_export.zip](#) », puis ouvrir le fichier « [Analyses temperature.csv](#) », copier toutes les données en sélectionnant le coin en haut à gauche de la feuille, faire un « collage spécial valeur » dans la case A1 de l'onglet « [TempEauNaiade](#) » du fichier de contextualisation hydro.

Pour les enregistreurs Hobo :

- ouvrir le logiciel HOBOWare Pro ;

 Les débits doivent être saisis en m^3/s . Il est nécessaire de remplir la surface du bassin versant de la station en km^2 en haut de page.

<http://www.naiades.eaufrance.fr/acces-donnees#/temperature>

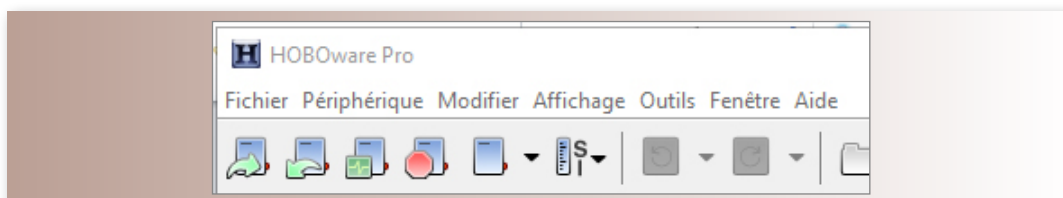


Figure 73 - Accueil du logiciel HOBOWare Pro.

- configurer les préférences dans le logiciel HOBOWare Pro.

Cliquer sur Fichier puis sur Préférences puis sur Généralités. Vérifier que la configuration correspond bien à celle de la Figure 74 ci-dessous.

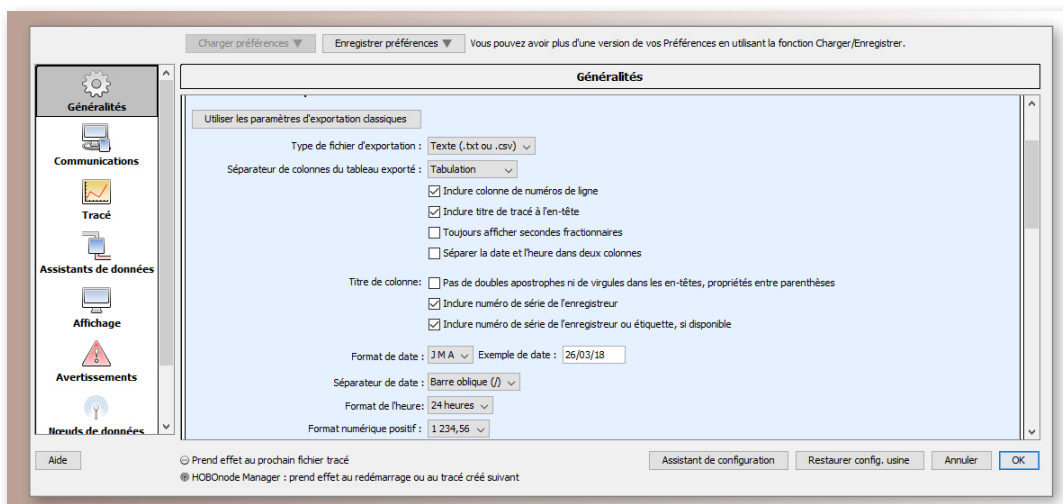


Figure 74 - Gestion des préférences du logiciel HOBOWare.

Puis cliquer sur Affichage. Vérifier que la configuration correspond bien à celle de la Figure 75 ci-dessous.

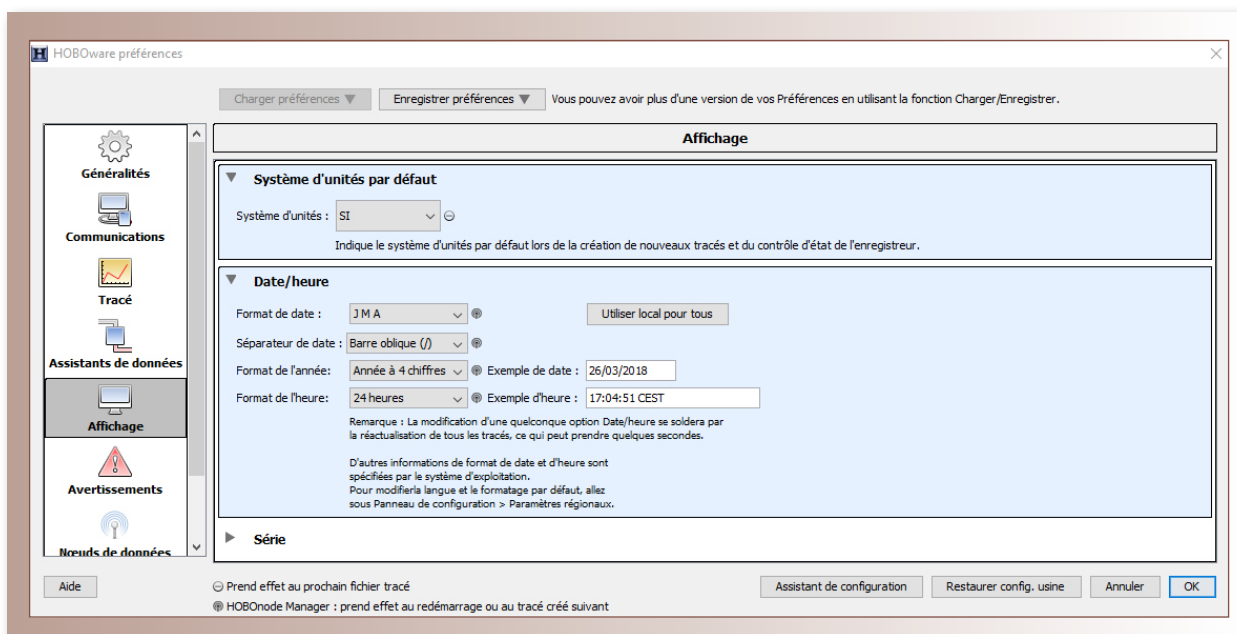


Figure 75 - Vérification de la configuration dans le logiciel HOBOWare.

■ Puis ouvrir le fichier hobo (Figure 76) ;

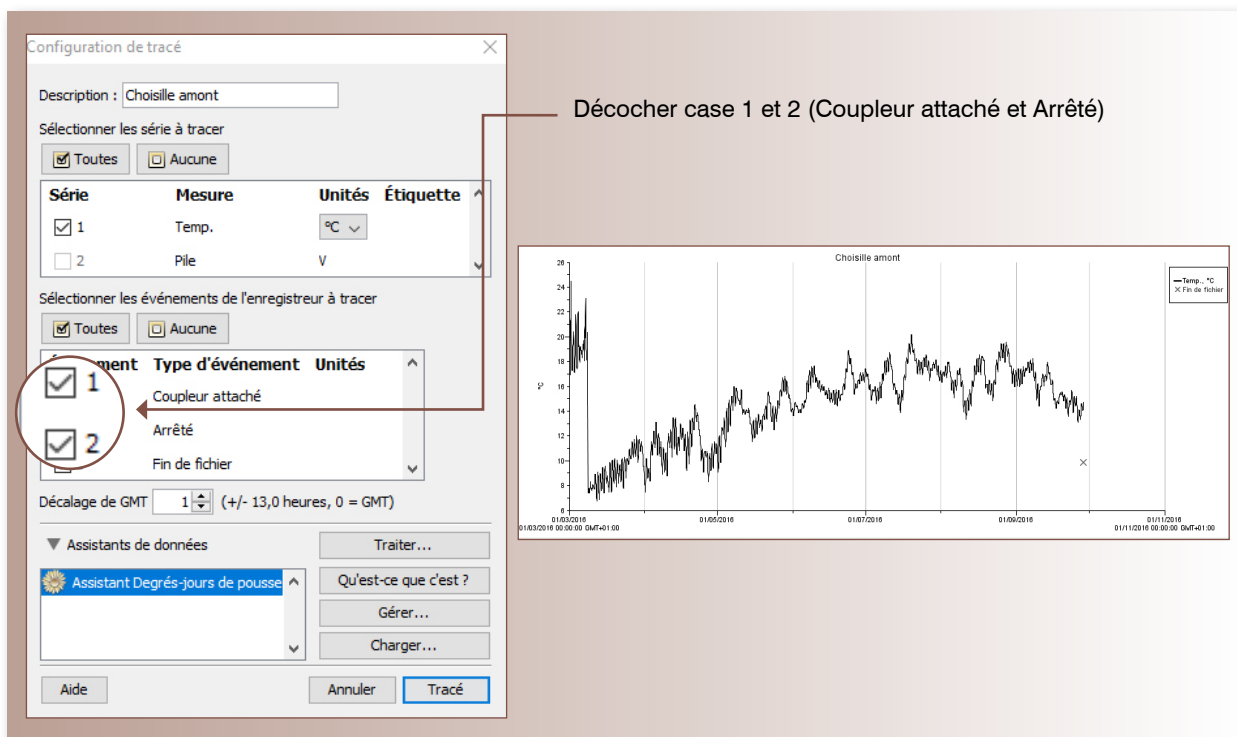


Figure 76 - Procédure et visualisation du fichier issu du logiciel HOBOWare (exemple sur la Choisille de Beaumont).

■ Passage au format .txt ;

Cliquer sur Fichier puis sur Données de Tableau d'exportation. On atteint ainsi le masque suivant, Figure 77.

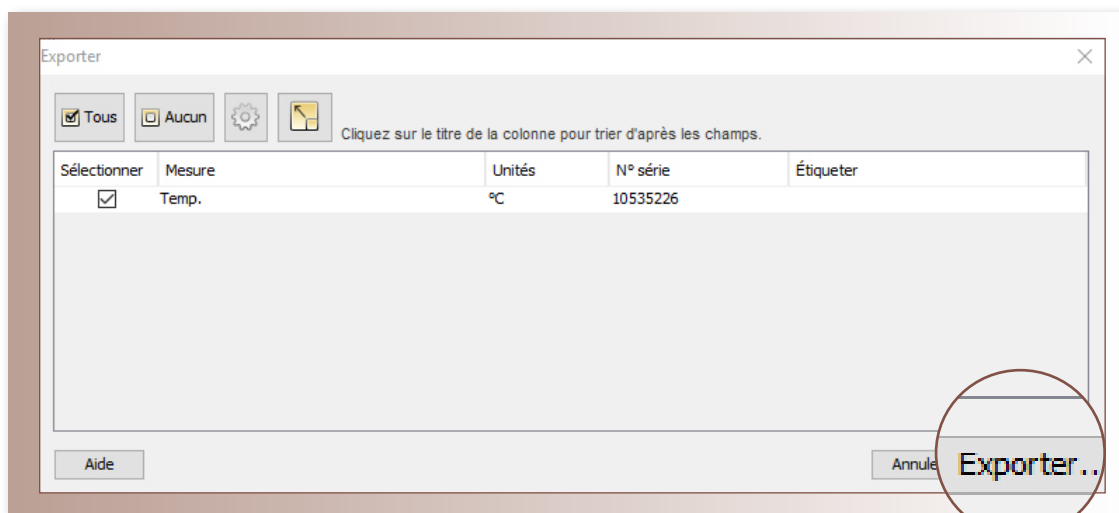


Figure 77 - Fenêtre d'export au format .txt du logiciel HOBOWare.

- Intégration dans le fichier « Contextualisation-hydro-V2.xlsx » ;
- ouvrir le fichier .txt, tout sélectionner et copier le contenu,
- se placer sur la cellule A1 de l'onglet « **TempEauHobo1** » ou de l'onglet « **TempEauHobo2** » du fichier « Contextualisation-hydro-V1.xlsx »,
- faire un collage spécial valeur,
- remplir les cellules C15 et/ou C16 de l'onglet « **Liste station** ».

Pluviométrie

Remplir directement les données de pluviométrie (en mm) en fonction des données à votre disposition. Remplir également les cellules E1 et F15 (surlignées en vert) de l'onglet « liste stations ».

Ces données sont « facultatives ». Elles sont utilisées pour aider l'utilisateur dans la critique des données hydrologiques disponibles (voir *Comparaison des stations*).

Dates des opérations de prélèvement

Il s'agit des dates où des relevés de terrain (physico-chimie, pêche électrique, relevé hydromorphologique du cours d'eau...) ont été réalisés dans le cadre du suivi de l'opération de restauration. Ce sont justement ces dates que l'on souhaite contextualiser avec les données hydrologiques.

Pour renseigner cet onglet, il faut mettre un « X » les jours où des opérations de suivi ont été réalisées sur le cours d'eau.

Utilisation des graphiques

Comparaison des stations

Ce premier onglet « **Graph comparaison stations** » permet de **comparer les différentes données hydrologiques disponibles**. Il permet par exemple de comparer :

- deux chroniques simulées Irstea entres elles ;
- une chronique simulée Irstea avec quelques points de jaugeages pour voir si la station Irstea est bien cohérente avec les mesures locales disponibles.

L'objectif de cet onglet est d'aider l'utilisateur à **choisir la station la plus pertinente qui servira pour la contextualisation hydrologique des opérations de suivi** dans les graphiques suivants.

⚠ Les données sont exprimées en lame d'eau écoulée (mm/j) pour pouvoir être comparées entre elles, d'où la nécessité de renseigner les surfaces des bassins versant amont des données renseignées dans les onglets « *MesureHydro1* » et « *MesureHydro2* ».

Cet onglet permet de :

- balayer les différentes années disponibles avec le menu déroulant ou via le « bouton d'incrémentation » (Figure 78) ;
- visualiser des données sur la pluviométrie et évaluer la cohérence avec le signal hydrologique des stations disponibles, sur le graphique.

Il sera utile voire nécessaire de faire varier l'échelle de l'axe des ordonnées des graphiques pour trouver la bonne échelle de zoom pour la visualisation des données.

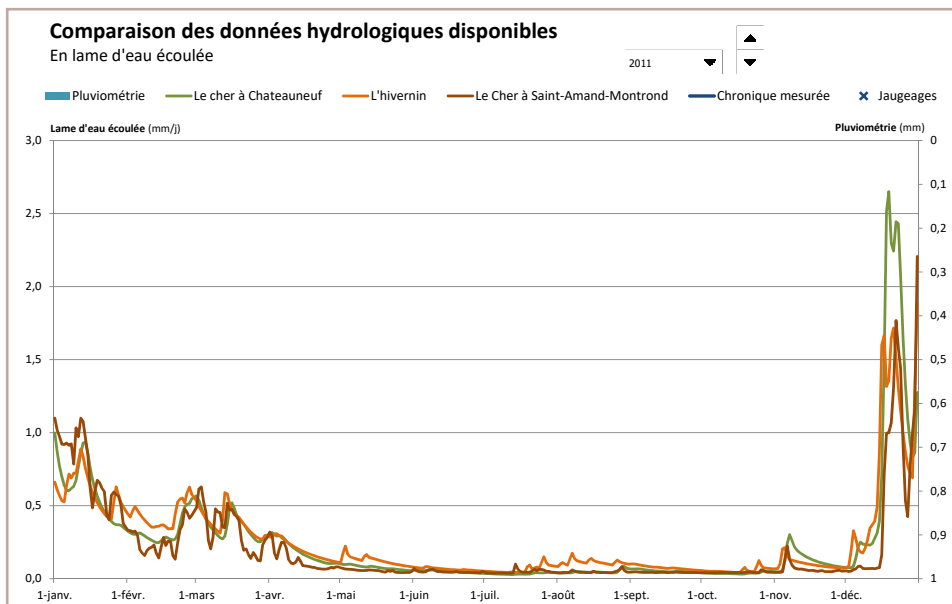


Figure 78 - Visualisation de l'onglet « Graph comparaison stations » (exemple sur le Cher).

Contexte hydrologique pluriannuel, annuel et en étiage

Les onglets « Graph contexte hydro PLURIANNUEL », « Graph contexte hydro ANNUEL » et « Graph contexte hydro ETIAGE » permettent de replacer les dates des opérations de suivi :

- dans le contexte hydrologique annuel et pluriannuel ;
- ou en zoomant sur la période d'étiage.

Contexte thermique

L'onglet « Graph température » permet d'apporter une information supplémentaire sur la température de l'eau au moment des opérations de prélèvements.

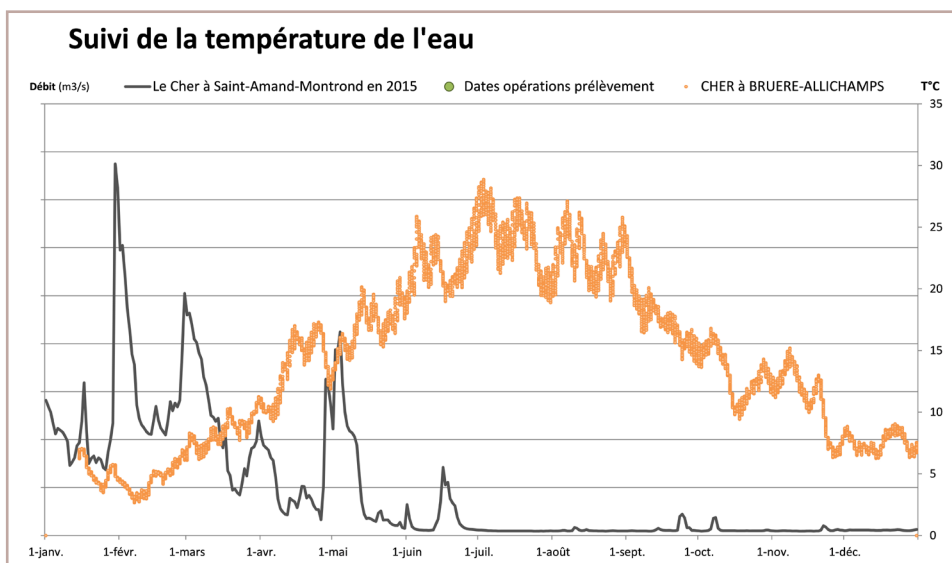


Figure 79 - Visualisation de l'onglet « Graph température » (exemple sur le Cher).

⚠ Si les données hydrologiques utilisées pour la contextualisation proviennent des stations simulées par Irstea, il est important de lire le fichier d'avertissement et le chapitre Débits issus de modélisation en site non jaugé (travaux Irstea) de la fiche hydrologie pour comprendre les limites d'utilisation de ces données.

En résumé, il faut retenir que ces données ne doivent pas être utilisées en valeur absolue, c'est-à-dire qu'il ne faut pas les utiliser pour affirmer qu'à une date donnée, le débit était de 3 m³/s par exemple. C'est pour cette raison que les valeurs de débit ne sont pas affichées sur l'axe des ordonnées.

Elles doivent être utilisées en relatif, c'est-à-dire que l'on s'intéressera à la forme de la courbe plutôt qu'aux valeurs, qui permettra de visualiser les amplitudes de variation de débit. Cette forme pourra également être comparée aux indicateurs statistiques qui sont calculés automatiquement dans les graphiques, à savoir : le débit moyen mensuel, la crue biennale, la crue décennale.

De plus, il est nécessaire de prendre en compte le nuage d'incertitude lié à la modélisation (enveloppe en grisé sur le graphique).

Caractérisation des liens nappe/cours d'eau et zones humides associées

Objectifs

Un suivi piézométrique permet de suivre l'évolution du niveau de la nappe accompagnatrice du cours d'eau. Il peut s'agir d'un suivi de la nappe seule et de ses évolutions saisonnières ou liées aux événements hydrologiques, ou d'un suivi du lien entre niveau d'eau du cours d'eau et niveau de la nappe.

Une évolution du niveau de la nappe accompagnant le cours d'eau peut avoir des conséquences sur les milieux naturels à proximité : alimentation des annexes hydrauliques, évolution des fonctionnalités des zones humides, dessèchement, pourrissement ou favorisation de la ripisylve, selon que le niveau diminue ou augmente et selon les espèces qui la composent.

Les usages peuvent aussi être affectés : en cas de baisse du niveau de la nappe, les stations de pompage peuvent rencontrer des problèmes. Selon la géologie du sol, il peut également y avoir un risque de déstabilisation d'ouvrages et/ou d'habitations.

Les travaux d'aménagements anciens des cours d'eau (seuil mais aussi mise en bief de cours d'eau, rectification, recalibrage, curage voire busage) ont modifié les liens entre les cours d'eau et leurs nappes d'accompagnement. Dans les cas de mise en bief par exemple, les cours d'eau sont généralement perchés et une partie de l'eau du cours d'eau est drainée par la nappe. À l'inverse, dans les cas de curage anciens et répétés par exemple, les cours d'eau s'incisent, et l'eau de la nappe est drainée par le cours d'eau (Figure 80).

Ainsi, les opérations de restauration peuvent modifier à la fois le niveau de la nappe et ses évolutions saisonnières, et le sens et le volume des échanges nappe-rivière.

Dans le cas d'un effacement d'ouvrage par exemple, il s'agira avant tout de suivre l'évolution du niveau de la nappe et de s'assurer que les usages de celle-ci peuvent être maintenus.

Dans le cas d'une remise dans le talweg, d'un reméandrage ou de la reconstitution du matelas alluvial, il s'agira d'abord de suivre l'évolution des échanges nappes-rivières, et ainsi de s'assurer d'un retour à un fonctionnement plus équilibré (limitation des phénomènes de drainage d'un côté ou de l'autre). L'évolution de ces échanges pouvant entraîner une modification du niveau de la nappe, il sera également nécessaire de suivre l'évolution du niveau de la nappe, ici aussi dans le cadre des usages de celle-ci, mais aussi pour le fonctionnement des annexes, zones humides et ripisylve associées.

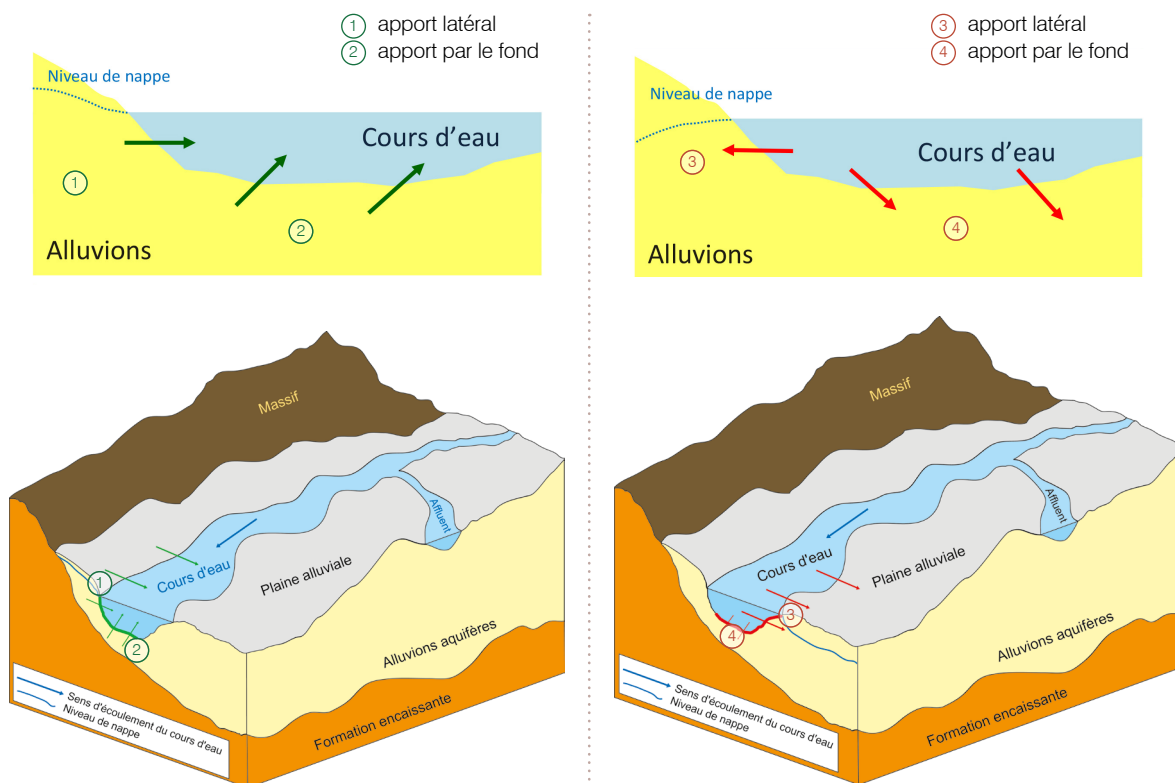


Figure 80 - Sens des échanges nappe-cours d'eau.
 À gauche, cas d'un cours d'eau incisé, le cours d'eau draine la nappe. À droite, cas d'un cours d'eau perché, la nappe draine le cours d'eau. (in Guide interactions nappes-rivières [59]).

Dans le cadre du SSM, l'objectif sera donc, d'une part de caractériser les échanges entre le cours d'eau et la (les) nappe(s), puis d'autre part de définir le niveau de(s) nappes(s) accompagnatrice(s), et par la suite de suivre les effets des travaux de restauration sur ce niveau et ces échanges, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

Pour chaque projet susceptible de rehausser ou d'abaisser significativement le fond topographique du cours d'eau et donc le niveau de la nappe, cette analyse mérite d'être développée.

Méthodes et protocoles

Il n'existe pas à ce jour de méthode standardisée voire même définie dans la bibliographie pour l'évaluation des effets des opérations de restauration de cours d'eau sur les échanges nappes/rivières. Ces mécanismes sont particulièrement complexes à décrire car relevant de différentes spécialités (hydrogéologues, hydrauliciens, botanistes, hydromorphologues...). Les connaissances scientifiques à mobiliser sont donc nombreuses et éparpillées, parfois anciennes, et les relations entre les différentes disciplines sont variables dans le temps et l'espace [59, 60]. En ce sens, et avant d'engager un suivi piézométrique dédié ou toute autre mesure *in situ*, il est proposé une démarche en deux temps pour concevoir ce suivi.

Étude hydrogéologique préalable

En premier lieu, il convient de vérifier sur une emprise fonctionnelle représentative du site restauré (définition de l'emprise représentative, voir Tableau 11) sur les 2 rives, la présence ou non d'une nappe alluviale sur la base d'une analyse sommaire reposant sur une visite de terrain et l'analyse de documents existants (carte géologique montrant que le cours d'eau coule sur une roche aquifère - Fz - , exploitations de la nappe par pompages et puits...). Cette approche doit permettre de déterminer s'il existe une nappe potentiellement connectée au cours d'eau.

Remarque

Lors de la visite de terrain, on recherchera notamment la présence de zones humides dans le lit majeur du cours d'eau, pouvant être révélatrices de remontées de nappe, et/ou la présence d'un substratum imperméable, indiquant une absence d'échanges entre une éventuelle nappe sous-jacente et le cours d'eau.

Tableau 11 - Définition de l'emprise fonctionnelle du suivi de nappe(s) accompagnatrice(s)

Nature de l'opération	Éléments d'aide à la définition de l'emprise fonctionnelle
Suppression ou contournement d'ouvrage [61]	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limite amont - remous liquide ou nouvel obstacle ■ Limite aval - 100 fois la Lpb en aval de l'ouvrage, seuil arbitraire : on observe souvent la réactivation de zones humides « historiques » en aval ■ Limite latérale : combinaison des contraintes naturelles et anthropiques au projet <p><u>Naturelles</u> - En l'absence d'étude hydrogéologique, la délimitation de la limite latérale peut être réalisée à partir des alluvions récentes Fz (voir la carte géologique du secteur)</p> <p><u>Anthropiques</u> - Les contraintes anthropiques au projet seront définies. En effet, la présence d'infrastructures linéaires (routes, voies ferrées), de surfaces bâties sont autant d'éléments qui déterminent les contraintes physiques</p>
Remise dans le talweg, reméandrage, recharge granulométrique	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limite amont/aval : linéaire restauré ■ Limite latérale : combinaison des contraintes naturelles et anthropiques au projet <p><u>Naturelles</u> - En l'absence d'étude hydrogéologique, la délimitation de la limite latérale peut être réalisée à partir des alluvions récentes Fz (voir la carte géologique)</p> <p><u>Anthropiques</u> - Les contraintes anthropiques au projet seront définies. En effet, la présence d'infrastructures linéaires (routes, voies ferrées), de surfaces bâties sont autant d'éléments qui déterminent les contraintes physiques</p>

Dans les cas où il n'y a naturellement pas ou peu de relations hydrodynamiques (notamment cours d'eau circulant sur formations peu perméables ou imperméables, comme les marnes ou les argiles sans nappe phréatique), aucun suivi hydrogéologique n'est à mettre en place et les effets de l'opération de restauration sont alors considérés comme faibles à nuls sur l'évolution du niveau des nappes sous-jacentes.

Par ailleurs, dans les environnements de type karstique, il n'existe pas de méthode pour réaliser un suivi de la nappe à des coûts raisonnables. Ainsi, sauf en cas d'enjeux majeurs, nécessitant l'intervention d'équipes spécialisées, le suivi ne sera pas mis en place sur les cours d'eau de type karstique.

Si la présence d'un aquifère, susceptible d'être en connexion avec le cours d'eau, est avérée, il sera recherché la présence d'ouvrages (puits, forages, piézomètres) dans la zone d'emprise fonctionnelle pouvant permettre de mesurer des niveaux de nappe et/ou de prélever des eaux souterraines. Les principaux ouvrages sont bancarisés dans la **base de données du sous-sol du BRGM** et les coupes géologiques associées peuvent être disponibles. Les points d'eau disposent d'informations supplémentaires stockées dans la banque de données ADES disponible depuis le même site (données de hauteur d'eau et/ou de qualité d'eau suivant les points).

Il existe également des systèmes d'information pour la gestion des eaux souterraines régionaux (SIGES) pour 10 territoires, mettant à disposition des données à l'échelle plus locale.

Cette recherche permettra de connaître la nature du sous-sol et l'altitude du toit de la nappe dans certains cas, voire l'évolution du niveau piézométrique en fonction des conditions hydrologiques afin de caractériser en première approche le fonctionnement hydrogéologique du secteur.

Si des cartes piézométriques sont disponibles (les cartes sont obtenues en combinant les données de hauteur d'eau issues de plusieurs piézomètres), il est parfois possible de savoir si régionalement le cours d'eau draine la nappe ou alimente la nappe aux dates des mesures utilisées pour faire la carte. Attention, cela ne signifie pas que le sens des échanges locaux au site de restauration est le même que celui observé régionalement sur la carte.

<http://infoterre.brgm.fr>

<http://www.brgm.fr/projet/siges-portails-thematiques-regionaux-sur-eaux-souterraines>

Cette analyse préalable doit ainsi permettre de produire une première approche de l'existence des échanges nappes/rivières sur le secteur d'étude dans le but de dimensionner un suivi plus fin avant/après travaux, en particulier par le biais de mesures piézométriques réalisées sur des ouvrages existants et/ou à mettre en place pour les besoins du suivi.

Mesures *in situ* (piézométrie)

Pour comprendre l'évolution des échanges nappe-rivière, il est proposé de suivre le niveau de la nappe à proximité du site et le niveau du cours d'eau à différents moments de l'année (lorsque le cours d'eau est à l'étiage, lorsqu'il est proche du module et à la crue journalière de fréquence biennale - voir pour mettre en place ce suivi la *Fiche 9 [Hydrologie]*). En effet, dans le cadre du SSM, on systématisera une mesure de hauteur d'eau dans le cours d'eau lors des relevés de piézomètres. Ceci permettra de connaître les variations du niveau de la nappe relativement au niveau du cours d'eau, plus informatif qu'une hauteur de nappe seule car prenant en compte une partie de la variabilité saisonnière et interannuelle.

Remarque

Les nappes d'accompagnement peuvent présenter une grande variabilité interannuelle, selon la pluviométrie notamment. Aussi, un état initial sur plusieurs années sera privilégié (à minima 3 ans).

L'écoulement se fait en suivant le gradient de pente de la nappe ; on supposera qu'à l'interface nappe-rivière, la nappe est au niveau de la rivière, on peut donc en déduire le sens des échanges nappe-rivière à partir du niveau de la nappe comparé à celui de la rivière.

L'effort consacré au suivi de la nappe sera proportionné au budget alloué à ce suivi, généralement en rapport avec les enjeux. En cas d'enjeu fort associé à des usages (pompages, stabilité des constructions) ou à des habitats d'intérêt à conserver ou restaurer, le suivi le plus complet sera préconisé. En l'absence d'enjeu particulier, un suivi plus léger pourra être mis en place (Tableau 12).

Un exemple de suivi aux différents niveaux d'efforts est présenté Figure 81.

Tableau 12 - Mise en œuvre du suivi selon l'importance des enjeux et donc de l'effort de suivi

Effort du suivi	Mise en œuvre	Fréquence de la mesure	Matériel
Important ↓ Faible	3 transects de 4 piézomètres sur chaque rive	Fréquence horaire	sondes enregistreuses
	2 transects de 3 piézomètres sur chaque rive	4 mesures <i>a minima</i>	sonde manuelle à bip
	Un transect de 3 piézomètres sur chaque rive	4 mesures <i>a minima</i>	sonde manuelle à bip
	Un transect de 3 piézomètres sur une seule rive	Fréquence horaire ou 4 mesures <i>a minima</i>	sonde enregistreuse ou sonde manuelle
	Un seul piézomètre, sur une rive	Fréquence horaire Ou 4 mesures <i>a minima</i>	sonde enregistreuse ou sonde manuelle

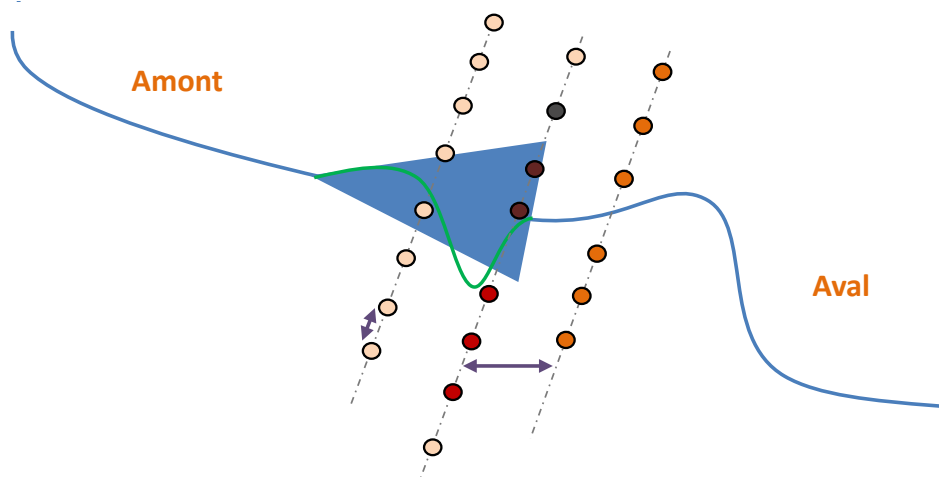


Figure 81 - Exemple de mise en place des piézomètres, dans le cas d'un effacement d'ouvrage (la mise en place sera similaire pour les autres opérations de restauration). Le suivi le plus simple n'est constitué que d'un seul point (le point noir, rive gauche). Plus le suivi est complet plus l'on y rajoute des piézomètres, jusqu'au plus clair, le plus complet. La distance entre les transects et entre les piézomètres doit être estimée au regard des caractéristiques du site.

Au-delà des préconisations ci-dessus, la fréquence et la période de suivi dépend des objectifs donnés à ce suivi : en cas de risque lié à l'abaissement, le comportement de la nappe sera principalement suivi à l'étiage ; en cas de suivi de l'augmentation du niveau de la nappe, le suivi pourra être réalisé lorsque les zones humides riveraines sont en eau. En cas d'enjeux forts, il est possible de suivre les piézomètres toute l'année.

A minima, quatre campagnes de mesures sont préconisées : deux en saison hivernale, et deux en saison estivale. Dans les deux cas, une mesure sera réalisée peu après un épisode pluvieux ; la seconde sera réalisée à distance d'événements pluvieux.

La distance à respecter entre les piézomètres d'un même transect et d'un transect à l'autre dépend de la perméabilité du substrat, des flux circulants et de la configuration du site (et des modifications attendues des niveaux de nappe). Entre les piézomètres, la distance est généralement de l'ordre de la dizaine de mètres, en restant dans l'emprise fonctionnelle prédéfinie. Dans le cas d'enjeux biodiversité, dans les annexes hydrauliques notamment, il sera également possible d'installer des piézomètres dans les zones humides d'intérêt (pour la mise en place et l'interprétation, voir la boîte à outils RhoMéo [62] ou la fiche du FMA [63]).

Remarque

Pour les cours d'eau perchés (déplacés hors de leur talweg), le suivi de la reconnexion avec la nappe et l'amélioration de l'alimentation du cours d'eau pourront être suivis via des mesures de débits en différents points du réseau superficiel, notamment en amont du tronçon « déplacé » et dans le tronçon déplacé en cas de remise dans le talweg. Les mesures piézométriques peuvent apporter dans ce cas un complément de connaissance.

Pour la mise en œuvre des mesures piézométriques, des éléments techniques détaillés sont disponibles dans la boîte à outils Rhoméo [62] pour le suivi des zones humides. Plus particulièrement les fiches Indicateur - I03 (p.24) et Protocole - P03 (p.54) fournissent un ensemble de recommandations sur la réalisation de ces mesures. La fiche du Forum Marais Atlantique [63] présente également des préconisations techniques (fiche hydropériode). Ces éléments ont été produits à des fins de compréhension du fonctionnement hydrologique des zones humides mais restent applicables pour les opérations de restauration de cours d'eau (notamment suivis en lit majeur d'annexes hydrauliques, de prairies humides...) ; les recommandations concernant les indicateurs restent à adapter au cas de la restauration.

Concernant la profondeur à laquelle installer les piézomètres, il faudra a minima se placer au niveau de la couche en contact avec le cours d'eau (qui pourra être assez profonde en cas d'incision). Sauf enjeu particulier identifié (usage des nappes sous-jacentes, fonctionnement particulier), il ne sera pas nécessaire de rechercher les aquifères plus en profondeur.

Remarque

La mise en place d'un piézomètre est soumise à une demande d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau (code de l'environnement - Article R214-1).

Exploitation des données, bancarisation

Pour caractériser le sens des échanges et interpréter les résultats, on s'appuiera sur la fiche outils n° 1 du guide technique interactions nappes-rivières [59], « analyse géomatique des niveaux d'eau ».

Par ailleurs, il sera utile de confronter les résultats du suivi obtenu aux résultats obtenus via les suivis de l'hydrologie et de la température. Ceci permettra d'avoir des indications sur le sens et la fréquence des échanges entre la nappe et le cours d'eau.

Dans un premier temps, les fichiers de données seront stockés dans la banque de données du SSM (voir *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*). Par la suite, l'intégration dans ADES, Banque nationale d'accès aux données sur les eaux souterraines, sera privilégiée.

<http://www.ades.eaufrance.fr/>

Méthodes complémentaires

Il faut noter qu'au-delà des mesures piézométriques, un ensemble d'autres paramètres peuvent être relevés et nécessaires, selon les enjeux et caractéristiques du site, pour caractériser les échanges nappes-rivières et comprendre les modifications de ces relations suite aux travaux :

- structure de la berge et colmatage (voir *Fiche 1 [Hydromorphologie (échelle station)]*) ;
- géochimie de la nappe (à mettre en lien avec la physico-chimie des eaux superficielles)[60] ;
- végétation aquatique[59] ;
- invertébrés souterrains[59] ;
- pédologie et habitats (flore) en lit majeur.

Les éléments techniques relatifs à ces protocoles complémentaires et à leur interprétation peuvent être consultés au sein des ouvrages listés dans la bibliographie.

Bibliographie spécifique

59. Paran, Frédéric et Bénédicte Augeard, 2017. *Guide technique Interactions nappe/rivière, des outils pour comprendre et mesurer les échanges*. Guides et Protocoles. Agence Française pour la Biodiversité.106 pages.

60. Paran, Frédéric, et al., 2015. *Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) & GRAIE (Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau).178 pages.

62. Collectif RhoMéO, 2014. *La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée*. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie.147 pages.

63. Forum des Marais Atlantiques, 2015. *Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides*. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Conseil régional des Pays de la Loire.189 pages.

Station			
Restaurée amont/Restaurée aval/Témoin altérée/Témoin non altérée/Échelle étendue			
Nom du réseau et code Sandre			
Cours d'eau			
Commune (département)			
Précision (lieu-dit/Pont/...)			
Justificatif positionnement			
Accès (route/chemin/parcelle à traverser...) - préciser rive droite ou rive gauche			
Mesures et positionnement des limites			
Largeur pleins bords mesurée			
Largeur mouillée mesurée			
Sinuosité (cocher la classe de sinuosité)	Rectiligne (<1,05) Sinueux (1,05<x<1,25) Très sinueux (1,25<x<1,5) Méandriforme (>1,5)		
Coordonnées limite aval Carhyce (L93)	X	Y	Si estimées : coordonnées limite amont Carhyce X Y
Autres coordonnées de points de prélèvements (L93)			
Observations in situ		N° de Photo	Légende
Présence d'altérations (rejets, berges renforcées, etc..)			
Usages identifiés (pompages du cours d'eau, de la nappe)			
Occupation du sol des parcelles jouxtant la station			
Propriétaires identifiés sur la station si rencontrés - noms et coordonnées			
Autres informations (exemple : Poissons : nécessité de pose d'un filet - Diatomées, le cas échéant : nécessité de racler un substrat artificiel, nécessité de pose de substrats)			

Schéma simplifié de la station

Notice

- **Cours d'eau** : préciser le nom du cours d'eau, surtout en cas d'impossibilité de positionner une des stations *Témoin* sur le même cours d'eau ou de volonté de suivi *Échelle* étendue sur un autre cours d'eau.
- **Observations in situ** : visualisation d'altérations ou d'usages lors du passage sur la station et description de l'occupation du sol des parcelles jouxtant la station.
- **Largeur pleins bords/mouillée mesurée** : relever quelques mesures de Lpb afin d'avoir un ordre de grandeur, idem pour la largeur mouillée. **Sinuosité** : entourer la sinuosité visible.
- **Schéma simplifié de la station** : réaliser un schéma de positionnement général de la station par rapport à des repères identifiables, et positionner les points Carhyce (*a minima*) et les autres, notamment si un léger décalage est nécessaire.

0600000402

Le Drac

à SAINT BONNET-EN-CHAMPSAUR

05



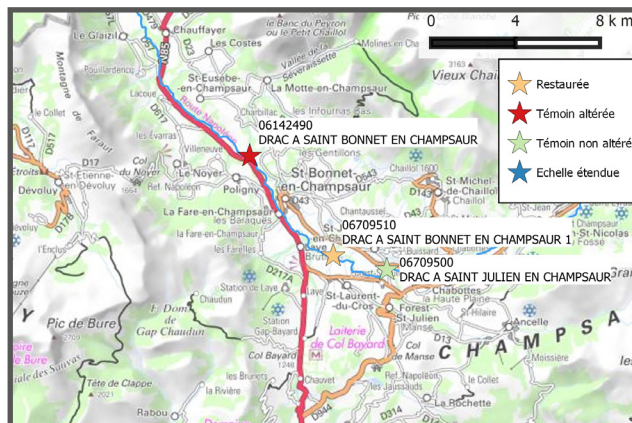
Reconstitution du matelas alluvial

Détail de l'opération :

Linéaire restauré (m)	3700
Largeur plein bords naturelle (m)	15
Agence	AERMC
DIR	DIR PACA
MO travaux	Communauté locale de l'eau du Drac amont - CLEDA

MO des suivis	AERMC
---------------	-------

Type de travaux réalisés - Secondaires	Modification de la géométrie du lit sans modification de l'emprise
Type de travaux réalisés - Accessoire	
Code ROE principal	
Hauteur de chute hors ROE (m)	
Date effective début des travaux	01/11/2013
Date effective fin des travaux	31/05/2014
Début des suivis	15/02/2010



© IGN 2012

© Mariène Rolan-Meynard - Irstea

Risque des ME concernées (EDL 2013)

Risque total	Pressions
1 Pas de risque	Y Oui
2 Doute sur le risque	N Non
3 Risque de non-atteinte	U Inconnu

Masse d'eau

DR353b

Le Drac, du Drac de champoleone à l'amont de St Bonnet

1 Risque total	Y Prélèvements	N Autres
N Poll. Ponctuelles	Y Régime Eaux	
N Poll. Diffuses	Y Alter. Morpho	

Stations associées

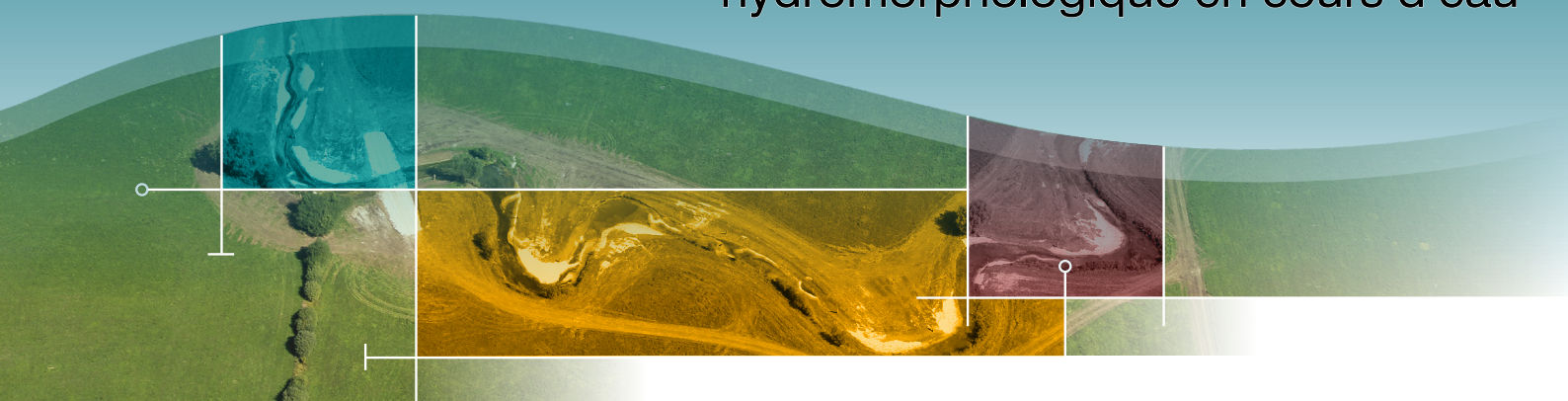
Code station	Libellé station	Finalité	Code ME	Détail situation	Coordonnées limite aval point Lit	
06709500	DRAC à SAINT JULIEN-EN-CHAMPSAUR	Témoins non altérée	DR353b	Référence amont	Coordonnées XY L93	
					947 014	6 399 359
06142490	DRAC à SAINT BONNET-EN-CHAMPSAUR	Témoins altérée	DR353b	Aval travaux	Coordonnées XY L93	
					942 019	6 404 852
06709510	DRAC à SAINT BONNET-EN-CHAMPSAUR 1	Restaurée	DR353b	Travaux	Coordonnées XY L93	
					945 011	6 400 157

Date de saisie 28/09/2017

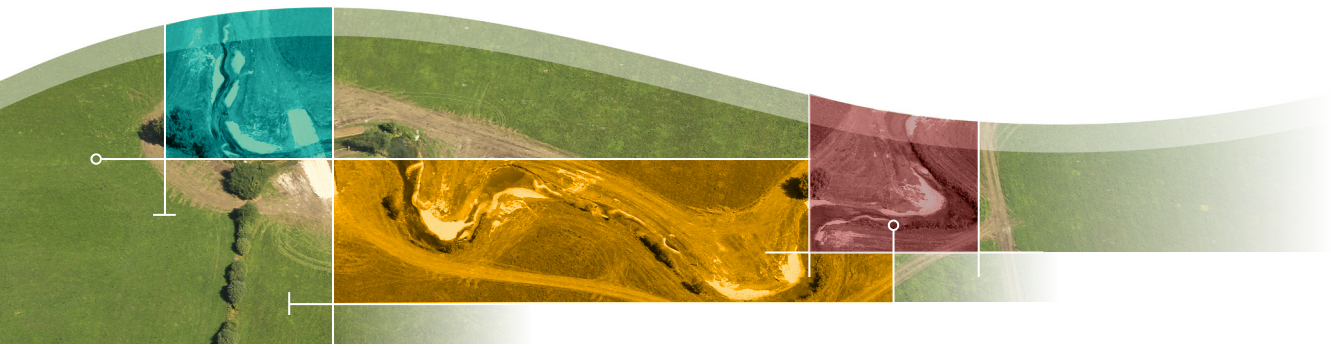
PARTIE D

Annexes

Guide pour l'élaboration de suivis
d'opérations de restauration
hydromorphologique en cours d'eau



Glossaire	178
Codes support Sandre.....	182
Informations à fournir pour la BDD du SSM	184
Bibliographie	186



Glossaire

Une volonté forte de concordance avec le référentiel Sandre³⁹ a guidé les définitions de la station et du point de prélèvement. L'objectif est de faciliter la déclaration et la bancarisation qui sont indispensables et doivent se faire par l'intermédiaire du Sandre (voir aussi la partie *Déclaration, bancarisation, consultation des données du suivi scientifique minimal*).

Concernant la typologie des opérations de restauration, elles s'appuient sur les documents d'Adam *et al.*, [28] et sur le classeur des Retours d'expériences sur l'hydromorphologie [29]. Consulter le site pour plus d'informations.

Opération de restauration hydromorphologique

Type d'action de restauration écologique visant à rétablir des processus hydromorphologiques altérés. En effet, une hydromorphologie non altérée est considérée comme essentielle pour le bon fonctionnement des communautés biologiques, via la disponibilité des habitats et la variabilité de ceux-ci par exemple. Sont par conséquent exclus du champ d'application de ce guide les travaux de restauration de la qualité physico-chimique de l'eau (par exemple, mise en place ou amélioration du traitement des eaux usées, mise en place de bassins d'orage, aménagements du bassin versant) et les opérations de diversification des habitats dans le lit mineur (par exemple, mise en place de caches).

Site de démonstration

Les opérations de restauration sur lesquelles sont appliquées précisément les recommandations du guide peuvent faire l'objet d'une intégration au **réseau des sites de démonstration**. Ce réseau a pour objectifs l'analyse inter-sites, mais aussi la visibilité à l'échelle nationale et les échanges entre les différents acteurs (communications, journées techniques). Pour plus d'informations se référer au lien web ci-contre.

Station de mesure

La station de mesure (Figure 82), selon le Sandre, est une entité spatiale située sur le cours d'eau, positionnée selon des objectifs préalablement définis, sur un linéaire homogène (voir ci-après). Il est donc possible de réaliser des mesures en des points représentatifs de ce linéaire, reflétant au mieux les conditions hydromorphologiques locales. Ces mesures ou prélèvements sont de différentes natures (chimiques, biologiques, hydromorphologiques) et ont pour finalité de déterminer la qualité écologique au sens de la DCE, au niveau de la station donnée. Les coordonnées qui sont attachées à la station de mesure indiquent un positionnement général sur le cours d'eau et n'ont pas vocation à délimiter précisément les points de prélèvement.

www.sandre.eaufrance.fr

Les définitions présentées ici, notamment concernant la station et le point de prélèvement, se substituent aux définitions des précédents documents de référence du Suivi scientifique minimal.

<https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/217>

Pour aller plus loin sur la définition de la restauration en général, voir le site de la SER (Society for ecological restoration) : <https://www.ser.org/> et notamment son rapport (disponible en français) : International standards for the practice of ecological restoration :

<https://www.ser.org/page/SERStandards>

<https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/358>

³⁹ « Le Sandre a pour mission d'établir et de mettre à disposition le référentiel des données sur l'eau du SIE (système d'information sur l'eau). Ce référentiel, composé de spécifications techniques et de listes de codes libres d'utilisation, décrit les modalités d'échange des données sur l'eau à l'échelle de la France. D'un point de vue informatique, le Sandre garantit l'interopérabilité des systèmes d'information relatifs à l'eau. » (Définition Sandre.eaufrance.fr)

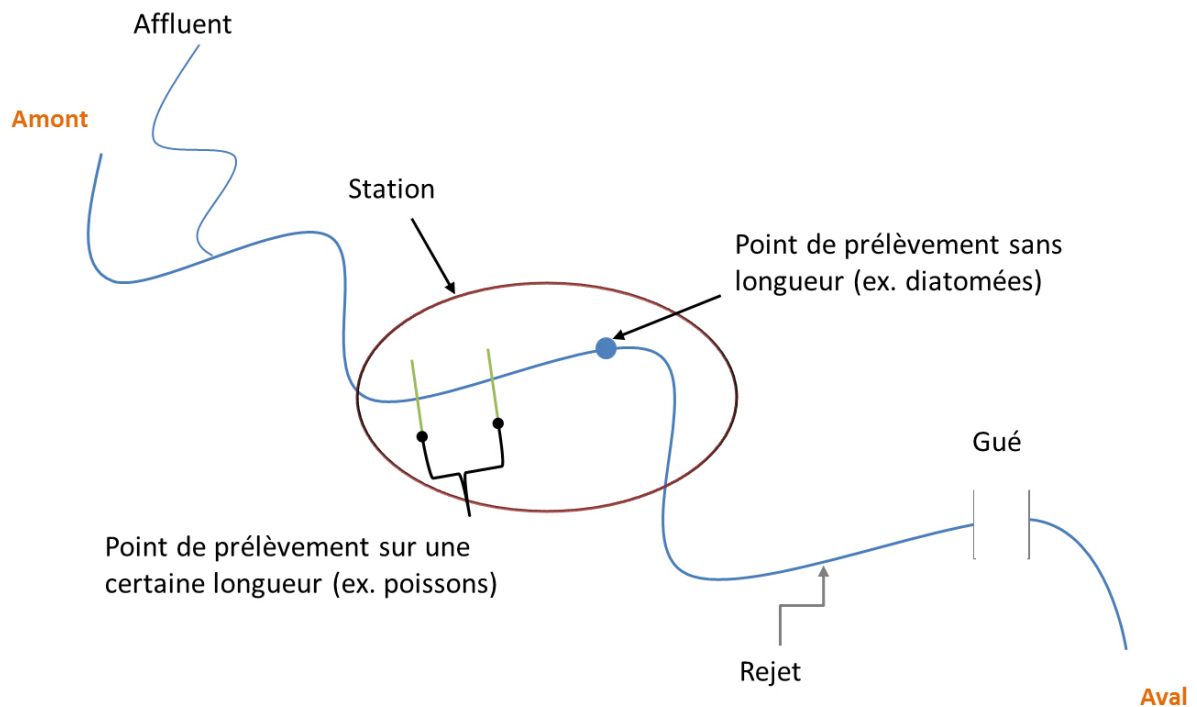


Figure 82 - Définition de la station et du point de prélèvement. La station est située sur un linéaire homogène, c'est-à-dire qu'il ne comporte ni arrivée d'affluents ni altérations anthropiques (rejets, gué par exemple). Le point de prélèvement définit le point exact où sont réalisés les prélèvements, par support (eau, poissons, diatomées...).

La station doit être située sur un linéaire **homogène** d'un point de vue des pressions anthropiques qui s'y exercent, notamment sur l'hydromorphologie ; par ailleurs, ce linéaire ne devra pas comporter de particularités locales (fosses ou chutes qui ne seraient pas représentatives du milieu, pressions anthropiques locales de type rejets, gués, etc.), et présenter une bonne représentativité des faciès d'écoulement présents sur le secteur à restaurer [26].

Point de prélèvement

Le point de prélèvement (Figure 82) est un sous-espace représentatif des conditions hydromorphologiques globales de la station, qui est précisément géolocalisé afin d'y réaliser des mesures répétées à différents pas de temps sur un support défini, permettant une connaissance relativement approfondie du milieu. Selon les mesures réalisées, le point de prélèvement peut être ponctuel (par exemple point de prélèvement correspondant aux supports diatomées, physico-chimie) ou avoir une certaine longueur (point de prélèvement poissons, macro-invertébrés, lit, etc.). Dans ce dernier cas, il sera défini prioritairement par les coordonnées de la limite aval, en rive gauche. Les coordonnées de la limite amont seront également précisées.

Sur la station préalablement définie seront donc positionnés les « points de prélèvements » au niveau desquels seront réalisés les prélèvements en tant que tels. Dans le cadre du SSM, les points de prélèvements des différents **supports** (eau, diatomées, poissons, etc.) associés à une station seront les plus chevauchants possible, à l'exception du cas d'une station localisée dans une retenue (voir le chapitre *Recouvrement et localisation*).

Support

Le support est lié à l'élément suivi : poissons, macroinvertébrés, diatomées d'une part pour la biologie, eau pour la physico-chimie et la température, lit pour l'hydromorphologie d'autre part. Les supports disponibles et codes support associés sont consultables en annexe (voir *Codes support Sandre*).

Masse d'eau

« Portion de cours d'eau, canal, aquifère, plan d'eau ou zone côtière homogène. Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destiné à être l'unité d'évaluation de la directive cadre sur l'eau. Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau, la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écorégion. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état » (définition du Glossaire de l'eau, Eaufrance).

Tronçon

« Portion [hydro-morphologiquement homogène] de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres de cours d'eau. Un changement de tronçon peut être défini par la confluence d'un tributaire [entraînant une augmentation du débit], des modifications de la morphologie du lit ou de la vallée, ou par des changements significatifs de la végétation riveraine, ces différentes variables reflétant des évolutions de l'hydrologie, de la composition chimique de l'eau et du régime des perturbations » (définition du Glossaire de l'eau, Eaufrance). En outre, des modifications majeures et profondes d'origine anthropique (grand barrage par exemple) peuvent conduire à redécouper le tronçon en deux tronçons distincts [20]. Le découpage selon le référentiel **Syrah** est préconisé, sauf si l'expertise sur le terrain ne le juge pas pertinent.

<http://www.irstea.fr/fr/le-projet-syrah-systeme-relationnel-daudit-de-lhydro-morphologie>

Faciès

Selon la définition de Malavoi et Souchon [64], « [Les] faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques sont des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle générale sur le plan des vitesses, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat, de la pente du lit et de la ligne d'eau et des profils en travers. Leur longueur peut varier d'une à quelques largeurs du lit mouillé. » On retiendra les 11 faciès principaux d'après le document cité (exemple : chenal lentique, plat lentique, radier, rapide, etc.) et/ou les 6 faciès simplifiés, selon les cas.

Types d'opérations de restauration

Reméandrage

« Le reméandrage consiste à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres si ceux-ci sont encore identifiables (sur carte, sur le terrain) et mobilisables (fonction des contraintes techniques et foncières) ou à créer un nouveau cours d'eau sinueux ou méandriforme correspondant au type fluvial naturel, dans le respect des lois morphologiques connues (géométrie en plan, en long et en travers) » [28].

Voir aussi la fiche https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_27-intro-remeandrage_vbat.pdf

Suppression d'ouvrage en travers

« Le principe général sous-tendant la proposition d'arasement (diminution de la hauteur de l'ouvrage) ou de dérasement (suppression de l'ouvrage) d'un seuil vise à redonner au cours d'eau son profil en long naturel » [28].

Voir aussi la fiche https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_21-intro-restauration_vbat.pdf

Contournement de plan d'eau

Dans le cas d'un contournement de plan d'eau, deux cas de figure se présentent : soit le cours d'eau avait été détourné pour la mise en place de l'ouvrage (cas des biefs et retenues perchés), l'opération consiste alors à remettre le cours d'eau dans son talweg ; soit le plan d'eau ou l'ouvrage est placé en travers du lit naturel du cours d'eau (gravière en lit mineur ou plan d'eau sur cours d'eau par exemple) et l'opération consiste alors à créer un bras de contournement.

Voir aussi https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_22-intro-suppression_vbat.pdf (cas de dérivation)

Remarque : sont exclus ici les dispositifs de franchissement piscicole, qu'il s'agisse de passe à poissons rustique ou non.

Remise dans le talweg

« Remettre un cours d'eau dans son talweg consiste, lorsqu'il est canalisé et perché, à le replacer en fond de vallée pour le reconnecter à sa nappe d'accompagnement » [29].

Voir aussi https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_28-intro-retour_vbat.pdf

Reconstitution du matelas alluvial

« Pour remédier à (des) phénomènes d'incision et de disparition du substrat alluvial, (et si l'on ne peut ni restaurer un espace de mobilité au cours d'eau, ni compter sur des apports naturels de l'amont ou latéraux), il sera nécessaire d'apporter sur place les matériaux. » [28]. Cet apport constitue l'objet de la reconstitution du matelas alluvial.

Voir aussi https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_24-intro-reconstitution_vbat.pdf

Suppression des contraintes latérales

« Le principe sous-tendant la démarche de suppression des contraintes latérales se situe dans la logique de mise en œuvre du concept d'instauration ou de restauration de l'espace de mobilité des cours d'eau » [28]. Le terme inclut ici la suppression d'enrochements et/ou de digues et/ou de merlons de curage, et comprend également des opérations plus modestes impliquant la reconnexion avec les annexes hydrauliques.

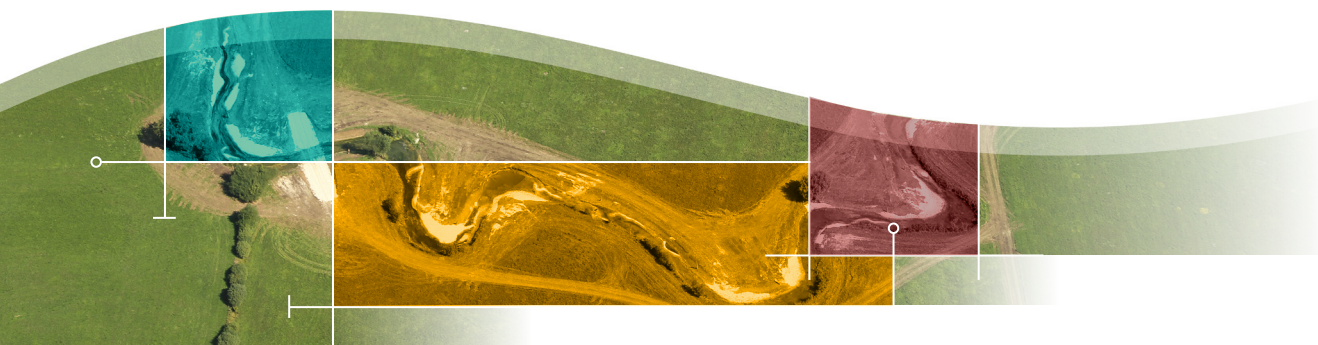
Voir aussi https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_25-intro-suppression_vbat.pdf

Modification de la géométrie du lit sans modification significative de l'emprise foncière.

« La modification de la géométrie du lit mineur/moyen dans un espace limité constitue une opération technique délicate à mettre en œuvre, puisqu'elle est toujours le résultat d'un compromis a priori antinomique, entre la volonté de produire un milieu alluvial élargi (ou plus diversifié) tout en étant néanmoins contraint » [28]. Ce type de travaux correspond à une volonté de reméandrer mais dans un système soumis à des contraintes foncières avec une ambition nécessairement moindre qu'un reméandrage. Il s'agit typiquement de cours d'eau en milieu urbain ou péri-urbain mais pas systématiquement, il peut s'agir d'un cours d'eau en milieu rural dont la maîtrise foncière ne permet pas des travaux au-delà du lit mineur. Cependant, il ne s'agit pas là d'inclure de simples mesures de diversification du lit mineur (pose de blocs, épis, embâcles...) mais de viser le rétablissement, au moins partiel, des processus hydromorphologiques altérés.

Voir aussi https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_26-intro-modification_vbat.pdf

Exemples : reméandrage à l'intérieur du lit mineur, resserrement du lit d'étiage, création de lits emboîtés.

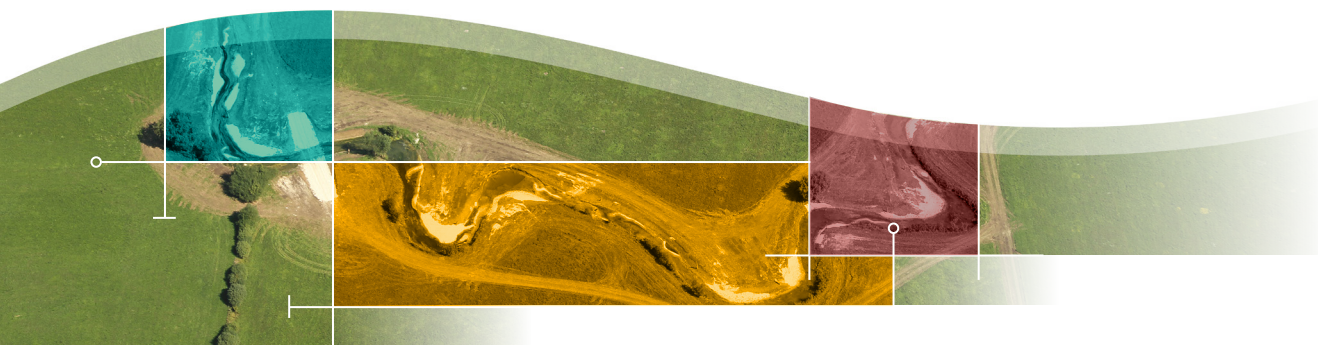


Codes support Sandre

Les supports d'intérêt dans le cadre du SSM sont indiqués en bleuté.

Code support	Libellé du support
1	Code gelé en 1994
2	Air
3	Eau
4	Poissons
5	Code gelé en 1994
6	Sédiments
7	Matières en suspension (M.E.S.)
8	Autres végétaux
9	Bryophytes
10	Diatomées benthiques
11	Phytoplancton
12	Autres animaux
13	Macroinvertébrés aquatiques
14	Code gelé en 1994
15	Eau interstitielle
16	Zooplancton
17	Gastéropode
18	Echinoderme
19	Tunicier
20	Crustacé
21	Bivalve
22	Algue
23	Substrat dur, roche
24	Matériel d'échantillonnage/embouteillage
25	Sol
26	Produit d'épandage
27	Macrophytes
28	Phytobenthos
29	Oligochètes
30	Mollusques
31	Boue d'épuration
32	Matières de dessablage
33	Phase Liquide Non Aqueuse PLNA

Code support	Libellé du support
34	Matières de vidange
35	Refus de dégrillage
36	Matières de curage
37	Cephalopode
38	Réactifs de traitement
39	Matériel de production d'eau potable
40	Amendement organique
41	Amendement minéral basique
42	Cétacé
43	Eau filtrée
44	Epibiontes
45	Epiphytes
46	Oiseau
47	Phanérogame
48	Pinnipède
49	Tortue
50	Seston
51	Habitat
52	Déchets industriels
53	Bactérie
54	Coraux, récifs coralliens
55	Bassin versant
56	Lit majeur
57	Lit mineur
58	Cuvette d'un plan d'eau
59	Berge
60	Zone rivulaire
61	Zone littorale d'un plan d'eau
62	Zone eulittorale d'un plan d'eau
63	Ripisylve
64	Plage d'un plan d'eau
65	Ile d'un plan d'eau
66	Nappe alluviale
67	Hydrophytes
68	Flux solide
69	Lit
70	Effluent agricole
71	Compost
72	Agnathe
73	Lichen
74	Digestat
75	Huitre
76	Moule
77	Coque
78	Palourde
79	Praire
80	Plastique
81	Gammare
82	Macrodéchet



Informations à fournir pour la BDD du SSM

Table 1 - Informations sur les sites

Champ	Caractère	Mode de saisie	Description
Code réseau SSM	Obligatoire	Libre ou liste de choix	Code Sandre de l'opération de restauration
Agence	Obligatoire	Liste de choix	Agence concernée par le suivi, qu'elle soit MO ou non
DIR	Obligatoire	Liste de choix	Délégation régionale AFB concernée par le suivi, qu'elle soit MO ou non
Code entité Hydro	Obligatoire	Liste de choix	Code entité hydro du cours d'eau sur lequel sont réalisés les travaux Si inconnu, l'outil permet de le récupérer d'après son toponyme
Toponyme	Obligatoire	Automatique	
Code entité Hydro 2	Facultatif	Liste de choix	Code entité hydro du second cours d'eau impacté par les travaux, si existant
Toponyme si manquant	Facultatif	Libre	Toponyme si non présent dans la Base hydro
Departement	Obligatoire	Liste de choix	Champ pour discriminer deux communes de même nom
Commune	Obligatoire	Liste de choix	Commune principale concernée par les travaux (échelle macroscopique). Liste de choix parmi communes du département
Diagnostic	Obligatoire	Oui/non	Le diagnostic a-t-il été réalisé et est-il à disposition ? Diagnostic = étude préalable qui détaille les altérations affectant le tronçon à restaurer, la raison d'être des travaux, les objectifs à atteindre
Type de travaux prévus	Obligatoire	Liste de choix à plusieurs choix	Quels travaux sont initialement prévus sur le site ?
Type de travaux réalisés - Principal	Obligatoire	Liste de choix unique	Quels travaux ont été réalisés sur le site ? I - Restauration supposée ayant le plus d'impacts
Type de travaux réalisés - Secondaire	Facultatif	Liste de choix unique	Quels travaux ont été réalisés sur le site ? II - Restauration supposée ayant un impact moindre
Type de travaux réalisés - Accessoire	Facultatif	Liste de choix unique	Quels travaux ont été réalisés sur le site? III - Restauration supposée ayant un impact moindre
Modalités de l'opération de restauration	Obligatoire	Liste de choix à plusieurs choix	En phase de réflexion
Mesures d'accompagnement	Facultatif	Liste de choix à plusieurs choix	Mesures complémentaires aux travaux de restauration. Ex. : déconnexion des réseaux d'eau pluviale/usée, remplacement d'une buse par un ouvrage-cadre...
MO travaux	Obligatoire	Liste de choix	Maître d'ouvrage des travaux (et non du suivi). Ex. : communauté de communes du Vimeu Vert
Interlocuteur	Obligatoire	Libre	Interlocuteur (personne physique) de référence pour les travaux
Linéaire restauré (m)	Obligatoire	Libre	Longueur du linéaire restauré/retrouvé
Largeur plein bords naturelle (m)	Obligatoire	Libre	Pour confirmer l'éligibilité au SSM
Code ROE	Facultatif	Liste de choix	En cas d'effacement d'ouvrage
Hauteur de chute à l'étiage ROE	Facultatif	Automatique	En cas d'effacement d'ouvrage. Récupéré automatiquement depuis ROE
Hauteur de chute hors ROE (m)	Facultatif	Libre	En cas d'effacement d'ouvrage, si non renseigné et/ou effacé depuis ROE

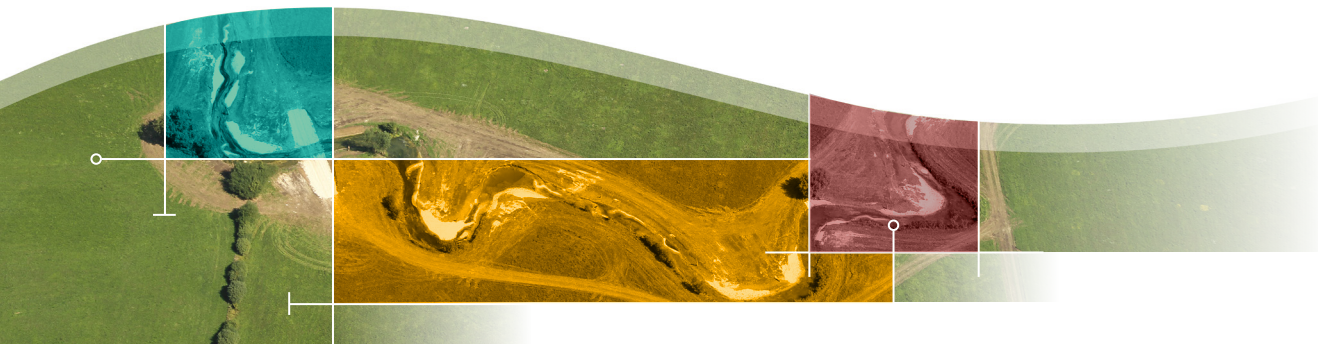
Année début travaux prévus	Obligatoire	Libre	Début des travaux - prévisionnel
Année fin travaux prévus	Obligatoire	Libre	Fin des travaux - prévisionnel
Année effective début travaux	Obligatoire	Libre	Début des travaux - effectif
Année effective fin travaux	Obligatoire	Libre	Fin des travaux - effectif
Descriptif travaux	Obligatoire	Libre	Champ libre. Description générale des travaux
Éléments de contexte pour l'analyse	Facultatif	Libre	Problèmes rencontrés lors de la phase travaux ou suivi. Ex. : problème de gestion des fines lors des travaux, pollution sur une ou plusieurs des stations...

Table 2 - Informations sur les stations

Champ	Caractère	Mode de saisie	Description
Code réseau	Obligatoire	Liste de choix	Code Sandre de l'opération de restauration
Code station	Obligatoire	Liste de choix	Code Sandre de la station
Nom station	Obligatoire	Automatique	Nom Sandre de la station
Code masse d'eau	Obligatoire	Automatique	Code masse d'eau Sandre de la station, liaison avec le nom masse d'eau
Nom masse d'eau	Obligatoire	Automatique	Nom masse d'eau Sandre de la station
Finalité	Obligatoire	Liste de choix	Préciser la finalité de la station, parmi : 1) Restaurée (dans l'emprise des travaux ou en aval immédiat de l'ouvrage à effacer), 2) Témoin altérée (Station altérée non impactée par les travaux), 3) Témoin non altérée (Station non altérée) ou 4) Echelle étendue (Station éloignée, impacts à l'échelle du BV)
Détail situation	Facultatif	Libre	Champ libre, préciser la localisation de la station : sur le secteur reméandré, en aval immédiat de l'ouvrage, en amont d'une retenue non impactée par les travaux...
Précision positionnement	Facultatif	Libre	Champ libre, notamment pour les stations TA et TNA, préciser le choix de la localisation de la station (Ex. : secteur non altéré mais en aval des travaux de restauration car impossibilité de placer la station en amont)
Suivi indicateur fonctionnels	Obligatoire	Oui/non	Cette station fait-elle l'objet d'un suivi de type « indicateurs fonctionnels » ?

Table 3 - Informations sur les opérations de prélèvement

Champ	Caractère	Mode de saisie	Description
Code réseau	Obligatoire	Automatique	Code Sandre de l'opération de restauration
Code station	Obligatoire	Automatique	Code Sandre de la station
Point prélèvement	Obligatoire	Liste de choix	Code du point de prélèvement
Code_operation	Obligatoire	Libre	Identifiant unique en base nationale, pour Carhyce ou Aspe notamment
Date_prelevement	Obligatoire	Format date	Date à laquelle le prélèvement a été réalisé. Il est impossible de saisir un prélèvement non encore réalisé
MO_suivi	Obligatoire	Liste de choix	Maître d'ouvrage du suivi (par opération de prélèvement)
Protocole	Obligatoire	Liste de choix	Protocole réalisé, parmi : IBG-DCE, IBGN, Pêche, IBMR, IBD, CARHYCE, Suivi température, Suivi physico-chimique,...
Conformité SSM	Obligatoire	Automatique	Selon le protocole utilisé, est-on ou non dans le cadre des préconisations SSM ?
Base de stockage	Obligatoire	Liste de choix	Base de stockage de l'opération de prélèvement : base Agence ou base nationale (Carhyce, WAMA,...)
Précision	Facultatif	Libre	Précision sur le protocole appliqué lorsque nécessaire, ex. : pêche complète deux passages, précision physico-chimie,...
Justification prélèvement	Facultatif	Libre	Champ libre, ex. : réalisé à cette date suite à crue morphogène, ou IBGN car IBG-DCE non réalisable...

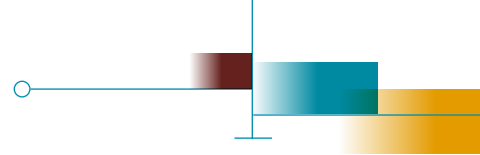


Bibliographie

1. Morandi, Bertrand, 2014. *La restauration des cours d'eau en France et à l'étranger : de la définition du concept à l'évaluation de l'action. Eléments de recherche applicables*. Thèse de doctorat, Géographie Lyon, École normale supérieure 2014. <NNT 2014ENSL0932>
2. Roni, Phil, Karrie Hanson, et Tim Beechie, 2008. *Global Review of the Physical and Biological Effectiveness of Stream Habitat Rehabilitation Techniques*. North American Journal of Fisheries Management, 28(3): p. 856-890.
3. Kail, Jochem, Karel Brabec, Michaela Poppe, et Kathrin Januschke, 2015. *The effect of river restoration on fish, macroinvertebrates and aquatic macrophytes: A meta-analysis*. Ecological Indicators, 58(Supplement C): p. 311-321.
4. Feld, Christian K, et al., 2011. *From natural to degraded rivers and back again: a test of restoration ecology theory and practice*. Advances in Ecological Research, 44(3): p. 119-209.
5. Lorenz, Armin W., Peter Haase, Kathrin Januschke, Andrea Sundermann, et Daniel Hering, 2018. *Revisiting restored river reaches – Assessing change of aquatic and riparian communities after five years*. Science of The Total Environment, 613(Supplement C): p. 1185-1195.
6. Malavoi, Jean-René et Yves Souchon, 2010. *Eléments pour une harmonisation des concepts et des méthodes de suivi scientifique minimal. Volets hydromorphologie-hydroécologie*. Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ.
7. Speed, Robert, et al., 2016. *River restoration: a strategic approach to planning and management*. Paris, UNESCO, 2016. 202 pages.
8. Hammond, Di, Jenny Mant, James Holloway, Nick Elbourne, et Martin Janes, 2011. *Practical river restoration appraisal guidance for monitoring options (PRAGMO)*. The River Restoration Centre: p. 41-80.
9. Fiers, Valérie et al., 2003. *Etudes scientifiques en espaces naturels. Cadre méthodologique pour le recueil et le traitement de données naturalistes*. Cahiers techniques de l'ATEN. Vol. 72. 96 pages.
10. Hellawell, John M., 1991. *Development of a rationale for monitoring*, in *Monitoring for Conservation and Ecology*, B. Goldsmith, Editor. Springer Netherlands: Dordrecht. p. 1-14.
11. Goldsmith, F. B., 1991. *Monitoring for Conservation and Ecology*. London, UK: Springer Netherlands. 275 pages.
12. Finlayson, C. Max, 1996. *Framework for designing a monitoring programme*, in *Monitoring Mediterranean Wetlands, a methodological guide*, p. Tomàs Vives, Editor. Medwet, Wetlands international & ICN: Slimbridge, UK & Lisbon, Portugal. p. 25-34.
13. Fehér, J., et al., 2012. *Hydromorphological alterations and pressures in European rivers, lakes, transitional and coastal waters*. Technical Report n°2. ETC./ICM.
14. Dany, Aude, 2016. *Accompagner la politique de restauration physique des cours d'eau : éléments de connaissance*. Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. 304 pages.
15. Coord Buijse, Tom, 2015. *REstoring rivers FOR effective catchment Management, REFORM*. Final Report. 68 pages.
16. Tales, Evelyne, 2017. *Cadre d'analyse et d'interprétation du suivi scientifique minimal mis en œuvre pour évaluer l'efficacité des opérations de restauration de cours d'eau*. Irstea - Onema. 55 pages.
17. Stewart-Oaten, Allan, William W. Murdoch, et Keith R. Parker, 1986. *Environmental Impact Assessment: "Pseudoreplication" in Time?* Ecology, 67(4): p. 929-940.

18. Lorenz, Armin W., Thomas Korte, Andrea Sundermann, Kathrin Januschke, et Peter Haase, 2012. *Macrophytes respond to reach-scale river restorations*. Journal of Applied Ecology, 49(1): p. 202-212.
19. Baudoin, Jean-Marc, et al., 2017. *Carhyce. Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied*. Guides et protocoles. Agence française pour la biodiversité. 56 pages.
20. Belliard, Jerome, Jean-Maxence Ditché, Nicolas Roset, et Samuel Dembski, 2012. *Guide pratique de mise en oeuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons*.
- 20bis. AFNOR, 2011. *NF T90-344 - Qualité de l'eau - Détermination de l'indice poissons rivière (IPR)*.
- 20ter. Pont, Didier, Olivier Delaigue, Jérôme Belliard, Anahita Marzin, et Maxime Logez, 2013. *Programme IPR+. Révision de l'indice poisson rivière pour l'application de la DCE*. Partenariat Irstea - Onema.
21. AFNOR, 2016. *NF T90-333 - Qualité de l'eau - Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes*.
22. AFNOR, 2017. *FD T90-733 - Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme NF T 90-333:2016 (Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes)*.
23. AFNOR, 2007. *NF T90-354 - Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD)*.
24. AFNOR, 2003. *NF T90-395 - Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)*.
25. AFNOR, 2016. *NF T90-393 - Qualité de l'eau - Échantillonnage, traitement et analyse des oligochètes dans les sédiments des eaux de surface continentales*
26. Navarro, Lionel, Josée Peress, et Jean-René Malavoi, 2012. *Aide à la définition d'une étude de suivi - recommandations pour des opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau*. Onema - Agences de l'eau ed.
27. AFNOR, 2008. *XP T90-383 - Qualité de l'eau - Échantillonnage des poissons à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons en lien avec la qualité des cours d'eau*.
28. Adam, Philippe, Nicolas Debiais, et Jean-René Malavoi, 2007. *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*. L'Agence de l'eau Seine-Normandie, Direction de l'eau, des milieux aquatiques et de l'agriculture (DEMAA), Service eaux de surface.
29. Onema, MEEDDM, et Agences de l'eau, 2010. *La restauration des cours d'eau - Recueil d'expériences sur l'hydromorphologie*.
30. Tamisier, Vincent, Frédéric Gob, Clélia Bilodeau, et Nathalie Thommeret, 2017. *Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français (Carhyce). Valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau*. Rapport scientifique CNRS (LGP-LADYSS)/Université de Paris Panthéon-Sorbonne/ESGT/AFB. 142 pages.
31. Bretagne Grands Migrateurs, 2013. *Description du protocole de pêche selon la méthode des indices d'abondance de juvéniles de saumon*. p. 8 pages.
32. Bretagne Grands Migrateurs, 2009. *Méthode de pêche électrique par échantillonnage par point au Martin Pêcheur « indice d'abondance anguille »*.
33. Bretagne Grands Migrateurs, 2012. *Méthodologie d'échantillonnage des ammocètes*.
34. Bach, Jean-Michel, et al., 2015. *Recueil de données biologiques 2014 sur les poissons migrants du bassin Loire, rapport d'activité*. Association LOGRAMI - Loire Grands Migrateurs. 291 pages.
35. Civade, Raphaël, et al., 2016. *Spatial Representativeness of Environmental DNA Metabarcoding Signal for Fish Biodiversity Assessment in a Natural Freshwater System*. PLOS ONE, 11(6): e0157366.
36. Abdallah, Y., D. Rivoallan, et I. Lebel, 2016. *Suivi vidéo des passages de poissons migrants dans la passe à poissons de Bladier-Ricard sur le fleuve Hérault. Campagne 2016*. Association MRM, FDPMA Hérault. 32 pages + annexes.

37. FDPPMA 62, 2017. *Dispositif de comptage des Grands Salmonidés Migrateurs, Riverwatcher d'Auchy-lès-Hesdin, résultats 2017*. Fédération du Pas-de-Calais pour la pêche et la protection du milieu aquatique. 26 pages.
38. Élie, Pierre et Patrick Girard, 2014. *L'Etat de santé des poissons sauvages: les Codes pathologie, un outil d'évaluation*. Association Santé Poissons sauvages.
39. Karr, James R, Kurt D Fausch, Paul L Angermeier, Philip R Yant, et Isaac J Schlosser, 1986. *Assessing biological integrity in running waters. A method and its rationale*. Illinois Natural History Survey, (Special Publication 5).
40. AFNOR, 2010. *XP T90-388 - Qualité de l'eau - Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau*.
41. AFNOR, 2015. *GA T90-788 - Qualité de l'eau - Guide d'application de la norme expérimentale XP T90-388 (Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau)*.
- 41bis. Mondy, Cédric Pascal, Bertrand Villeneuve, Virginie Archaimbault, et Philippe Usseglio-Polatera, 2012. *A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach*. Ecological Indicators, 18: p. 452-467.
42. Mondy, Cédric P. et Philippe Usseglio-Polatera, 2013. *Using conditional tree forests and life history traits to assess specific risks of stream degradation under multiple pressure scenario*. Science of the Total Environment, 461: p. 750-760.
43. Larras, Floriane, et al., 2017. *Assessing anthropogenic pressures on streams: A random forest approach based on benthic diatom communities*. Science of The Total Environment, 586: p. 1101-1112.
44. Colas, Fanny et Eric Chauvet, 2015. *Vers une évaluation fonctionnelle de la restauration des écosystèmes lotiques dégradés*. EcoLab - Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement, CNRS UMR 5245 – Université Paul Sabatier (Toulouse).
45. Rebière, Delphine, et al., 2018. *Protocole pour la réalisation de dispositifs de suivi pérenne de la température de plans d'eau*. Pôle Onema-Irstea «Hydroécologie des Plans d'eau». 120 pages.
46. Malavoi, Jean-René et Jean-Paul Bravard, 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Physio-Géo. Géographie physique et environnement. 224 pages.
47. Pioch, Noémie, Gabriel Melun, et Dominique Baril, 2017. *Caractérisation hydromorphologique du Buëch entre sa confluence avec le Channe et le pont de Ribiers*. Agence Française pour la Biodiversité. 67 pages.
48. Hénaff, Alain, 2014. *Gestion des risques d'érosion et de submersion marines: guide méthodologique*. Équipe Littoral, environnement, télédétection, géomatique.
49. CETMEF, 2008. *Le GPS différentiel (DGPS) et temps réel (GPS RTK)*. 6 pages.
50. Malavoi, Jean-René et Yves Souchon, 2002. *Standardized description of streams and rivers channel geomorphic units: Qualitative description key and physical measurements*. Bulletin Français De La Pêche Et De La Pisciculture, (365-66): p. 357-372.
51. Lebecherel, Laure, Vazken Andréassian, Bénédicte Augéard, Eric Sauquet, et Clotilde Catalogne, 2015. *Connaître les débits des rivières : quelles méthodes d'extrapolation lorsqu'il n'existe pas de station de mesures permanentes ?* Comprendre pour agir. Onema.28 pages.
52. Le Pichon, Céline, et al., 2016. *Suivi de l'efficacité de restauration de la continuité écologique, Cas des rivières du Parc Naturel Régional de la Haute Vallée de Chevreuse*. Irstea. 114 pages.
53. De Wilde, Mélissa, 2014. *Consequences of dewatering for aquatic plant communities and the functioning of riverine wetlands*. Thèse de doctorat, Biodiversité et Ecologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2014. <NNT : 2014LYO10275>
54. Cornier, Thierry, 1998. *Essai de typologie écologique des communautés végétales du lit de la Loire*. Université François Rabelais, DIREN Centre, Orléans. 47 pages.
55. Perrin, Charles, Claude Michel, et Vazken Andréassian, 2003. *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology, 279(1): p. 275-289.
56. Brigode, Pierre, Vazken Andréassian, François Bourgin, et Florent Lobligeois, 2014. *Reconstitution ponctuelle de chroniques hydrologiques incomplètes ou manquantes par modèle pluie-débit*. Irstea. 25 pages.



57. Nash, J. E. et J. V. Sutcliffe, 1970. *River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles*. Journal of Hydrology, 10(3): p. 282-290.
58. Rojas-Serna, Claudia, Laure Lebecherel, Charles Perrin, Vazken Andréassian, et Ludovic Oudin, 2016. *How should a rainfall-runoff model be parameterized in an almost ungauged catchment? A methodology tested on 609 catchments*. Water Resources Research, 52(6): p. 4765-4784.
59. Paran, Frédéric et Bénédicte Augeard, 2017. *Guide technique Interactions nappe/rivière, des outils pour comprendre et mesurer les échanges*. Guides et Protocoles. Agence Française pour la Biodiversité. 106 pages.
60. Paran, Frédéric, et al., 2015. *Caractérisation des échanges nappes/rivières en milieu alluvionnaire – Guide méthodologique*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) & GRAIE (Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau). 178 pages.
61. Le Bihan, Mikaël, 2012. *Comment évaluer les incidences d'une modification artificielle de la ligne d'eau d'un cours d'eau sur les zones humides périphériques ?* ONEMA. 41 pages.
62. Collectif RhoMéO, 2014. *La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée*. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 147 pages.
63. Forum des Marais Atlantiques, 2015. *Mallette d'indicateurs de travaux et de suivis en zones humides*. Agence de l'eau Loire-Bretagne et Conseil régional des Pays de la Loire. 189 pages.
64. Malavoi, J. R. et Y. Souchon, 2002. *Standardized description of streams and rivers channel geomorphic units: Qualitative description key and physical measurements*. Bulletin Francais De La Peche Et De La Pisciculture, (365-66): p. 357-372.

Citation : Rolan-Meynard M. *et al.*, 2019. Guide pour l'élaboration de suivis d'opérations de restauration hydromorphologique en cours d'eau. Agence française pour la biodiversité. *Collection Guides et protocoles*. 190 pages

Mentions légales

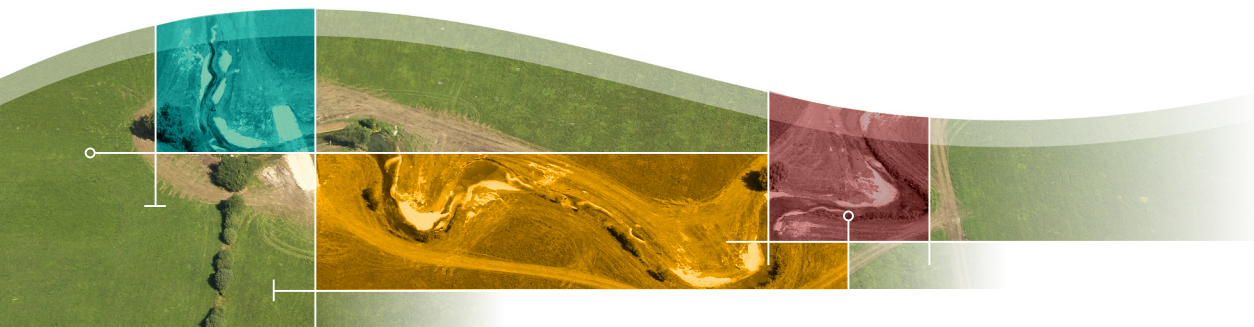
Éditeur : Agence française pour la biodiversité (AFB)
5, square Félix Nadar - Hall C -94300 Vincennes

Édition : Véronique Barre, Béatrice Gentil-Salasc
Iconographie : Bluelife
Imprimeur : Estimprim - ZA À la Craye - 25110 Autechaux

Gratuit
Dépôt légal à parution
ISBN web : 978-2-37785-063-4
ISBN print : 978-2-37785-064-1
Achévé d'imprimer en mai 2019



La reproduction à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite à condition que la source soit dûment citée.
La reproduction à des fins commerciales, et notamment en vue de la vente, est interdite sans permission écrite préalable.



Rectifiés, recalibrés, curés, barrés, endigués, et parfois même détournés, les cours d'eau ont vu leurs formes profondément modifiées afin de répondre à différents usages anthropiques. Mais ces interventions, parfois très lourdes, altèrent les habitats naturels, bouleversent durablement les écosystèmes et les font dévier de leur trajectoire naturelle d'évolution. Ainsi, dans le cadre de la directive cadre sur l'eau, il a été évalué que 40 % des cours d'eau risquaient de ne pas atteindre le bon état à cause d'altérations de leurs habitats.

Une solution consiste à restaurer l'hydromorphologie de ces cours d'eau. Cette action vise le rétablissement des processus naturels : réactivation de la dynamique fluviale, diversification des morphologies du lit (faciès, profils en travers), diversification des écoulements et des habitats du lit mineur, reconnexion ou recréation d'annexes hydrauliques...

Mais comment évaluer la réussite de ces opérations de restauration hydromorphologique ?

Pour la première fois, un guide opérationnel propose un suivi standardisé, rigoureux et informatif. Applicable aux cours d'eau permanents et prospectables à pied, ce suivi a été adapté à sept types d'opérations de restauration de l'hydromorphologie des cours d'eau. Composé de trois parties, ce guide expose tout d'abord les grands principes de construction du suivi, puis détaille le suivi adapté à chaque type d'opération et, enfin, présente les différents protocoles à mettre en œuvre sur le terrain ainsi que des pistes d'interprétation des résultats obtenus. Dans les prochaines années, le guide est destiné à évoluer et s'enrichir des retours des utilisateurs.

Cet ouvrage s'adresse à toute personne désireuse de mettre en place un suivi sur son projet de restauration hydromorphologique : maîtres d'ouvrages (collectivités, gestionnaires de milieux...), bureaux d'études... S'appuyant sur l'expertise scientifique, technique et l'expérience opérationnelle des agences de l'eau, de l'Agence française pour la biodiversité et d'Irstea, il guide l'élaboration et la mise en œuvre sur le terrain d'un suivi permettant l'évaluation de la réussite de son projet sur différents compartiments, biologiques et hydromorphologiques notamment.



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

**LES
AGENCES
DE L'EAU**
ÉTABLISSEMENTS PUBLICS DU MINISTÈRE
EN CHARGE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE



www.afbiodiversite.fr  [@afbiodiversite](https://twitter.com/afbiodiversite)

Agence française pour la biodiversité - Site de Vincennes : « Le Nadar », Hall C 5, Square Félix-Nadar, 94300 Vincennes - Tél. : 01 45 14 36 00

Couverture *Bluelife* (photo : CD54 / 4 vents)