



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

Liberté
Égalité
Fraternité

PREFET DE LA REGION
GRAND EST

PREFET DE LA REGION
ILE-DE-FRANCE

GUIDE TECHNIQUE

Mulette épaisse

Unio crassus

& autres bivalves

Quels projets doivent les prendre en compte et comment ?

Décembre 2021



Rédaction (par ordre alphabétique) :

Xavier Cucherat (Arion.idé sarl), Florent Lamand (OFB), Vincent Prié (Expertise biodiversité)

Contribution, Encadrement :

Laurence Claudel (DREAL Grand Est), Bastien Moreira-Pellet (DRIEAT Ile-de-France), Emmanuel Perez (OFB), Benoît Pleis (DREAL Grand Est), Manuelle Richeux (DRIEAT Ile-de-France)

Conception graphique :

Hari Bourion (DREAL Grand Est)

Document édité par :

DRIEAT Ile-de-France et DREAL Grand Est

Décembre 2021

Crédits photos :

Page de couverture © Cours d'eau, Florent Lamand | © Mulette épaisse, Vincent Prié.

Citation de l'ouvrage :

« DREAL Grand Est, DRIEAT Ile-de-France, Guide technique : Mulette épaisse et autres bivalves : Quels projets doivent les prendre en compte et comment ? Décembre 2021 ».

Introduction

Initialement répandue de l'Atlantique à l'Oural, la Mulette épaisse *Unio crassus*, Philipsson, 1788, est endémique d'Europe. Avec les autres moules d'eau douce - ou « naïades ou mulettes », elle contribue à filtrer les eaux des rivières et stabiliser les sédiments. Méconnues aujourd'hui, les moules d'eau douce étaient pêchées pour l'utilisation de leur coquille (boutons, racloirs...) et la production de perles (Mulette perlière), mais n'étaient pas consommées.

Les pollutions, l'aménagement des cours d'eau et la disparition des poissons qui permettent leur reproduction (voir les explications passionnantes de l'annexe I dédiée), sont autant de menaces qui ont entraîné la chute de leurs effectifs, dans un contexte plus global de dégradation généralisée des rivières.

Ainsi, dans les années 90, ces constats tirés par les pays européens conduisent à classer plusieurs moules d'eau douce en espèces « d'intérêt communautaire ». La Mulette épaisse appartient dès lors aux espèces justifiant la désignation de sites Natura 2000 (annexe II) et aux espèces à protéger (annexe IV) de la Directive européenne « Habitats-Faune-Flore ».

En application de cette directive, l'espèce aurait dû être inscrite dès l'arrêté du 7 octobre 1992 fixant la liste des mollusques protégés sur le territoire métropolitain, mais ne le sera que par l'arrêté du 23 avril 2007 qui l'abroge et le remplace. Elle y est inscrite à l'article 2 (protection des individus et habitats).

Depuis, et notamment en France, sa répartition a été mieux documentée. Son statut de menace selon les critères de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature reste préoccupant, la Mulette épaisse étant considérée comme :

- « en danger d'extinction » au niveau mondial ;
- « vulnérable » au niveau européen ;
- « en préoccupation mineure » en France (IUCN juillet 2021) ;
- « vulnérable » en Grand Est (à paraître).

En outre, son état de conservation au regard des critères d'évaluation de la Directive « Habitats-Faune-Flore », est considéré comme « défavorable-mauvais » en France, quelle que soit la région biogéographique.

En effet, les niveaux de population actuels sont bien en deçà des niveaux historiques. Ainsi, la responsabilité de la France dans le rétablissement du bon état de conservation de l'espèce dans son aire de répartition naturelle est particulièrement importante.

Toute atteinte à l'espèce étant interdite, les porteurs de projets doivent s'assurer de sa prise en compte, et donc engager des diagnostics spécifiques dans les études préalables aux projets ayant des effets sur les cours d'eau où elle est présente ou potentiellement présente. En cas de présence, l'évitement est le premier réflexe. Sinon, une dérogation aux interdictions d'atteinte peut être envisagée, aux conditions fixées par le L.411-2 (motifs de dérogation, absence d'autre solution, non remise en cause de l'état de conservation), fixant les mesures « ERC » à la clé.

Cette démarche est pourtant malmenée aujourd'hui car cet enjeu reste méconnu voire confidentiel selon les départements ou régions. Par ailleurs, la biologie unique dans le monde animal des mulettes explique la complexité des diagnostics et la grande particularité des mesures d'évitement, de réduction et de compensation.

Ce guide technique a ainsi pour but à clarifier les attentes des services de l'État qui instruisent les demandes de dérogation en la matière, et se veut un véritable mode opératoire pour la prise en compte de la Mulette épaisse. Elle sera le point focal de ce document, mais tout ce qui concerne la démarche « ERC » s'applique aux autres espèces de bivalves menacées n'ayant pas de statut réglementaire de protection et qui ont une niche écologique proche de celle de la Mulette épaisse : l'Anodonte comprimée, la Mulette des rivières, la Cyclade des fleuves, et la Grande Cyclade.

Le contenu du guide repose sur la consultation de la littérature récente en ce qui concerne la biologie, l'écologie et les études disponibles sur la Mulette épaisse. Des études réglementaires ciblant la Mulette épaisse dans le Grand Est et l'Île-de-France ont été analysées. Le guide technique fait ainsi ressortir les bonnes pratiques et les erreurs ou manquements ainsi que la chronologie des différentes étapes pour une bonne prise en compte de la Mulette épaisse par les projets d'aménagement. Il propose également des exemples de mesures adaptées aux enjeux relatifs à ces espèces, qui peuvent être mobilisées par les maîtres d'ouvrage afin de concevoir la séquence « éviter-réduire-compenser ».





Crédit photo : Florent LAMAND

Comment utiliser ce guide ?

Le guide est construit de telle manière à ce qu'il réponde aux questions et/ou étapes que rencontrent un porteur de projet ou un instructeur de dossiers réglementaires, ou tout autre type de lecteur, traitant de la Mulette épaisse.

Le lecteur a **deux clés d'entrée** à sa disposition pour utiliser ce guide :

» Le logigramme ou » la table des matières.

» **Le logigramme** présente la démarche intellectuelle et pratique de la conduite d'un projet qui pourrait avoir des effets sur la Mulette épaisse et/ou sur les autres bivalves. Les questions posées renvoient à des fiches et annexes qui peuvent facilement être atteintes par l'usage de la table des matières.

» **La table des matières**, sans passer par l'étape du logigramme. Ceci permet au lecteur d'aller consulter directement les fiches et/ou annexes qui l'intéressent pour obtenir les informations qu'il recherche.



Table des matières

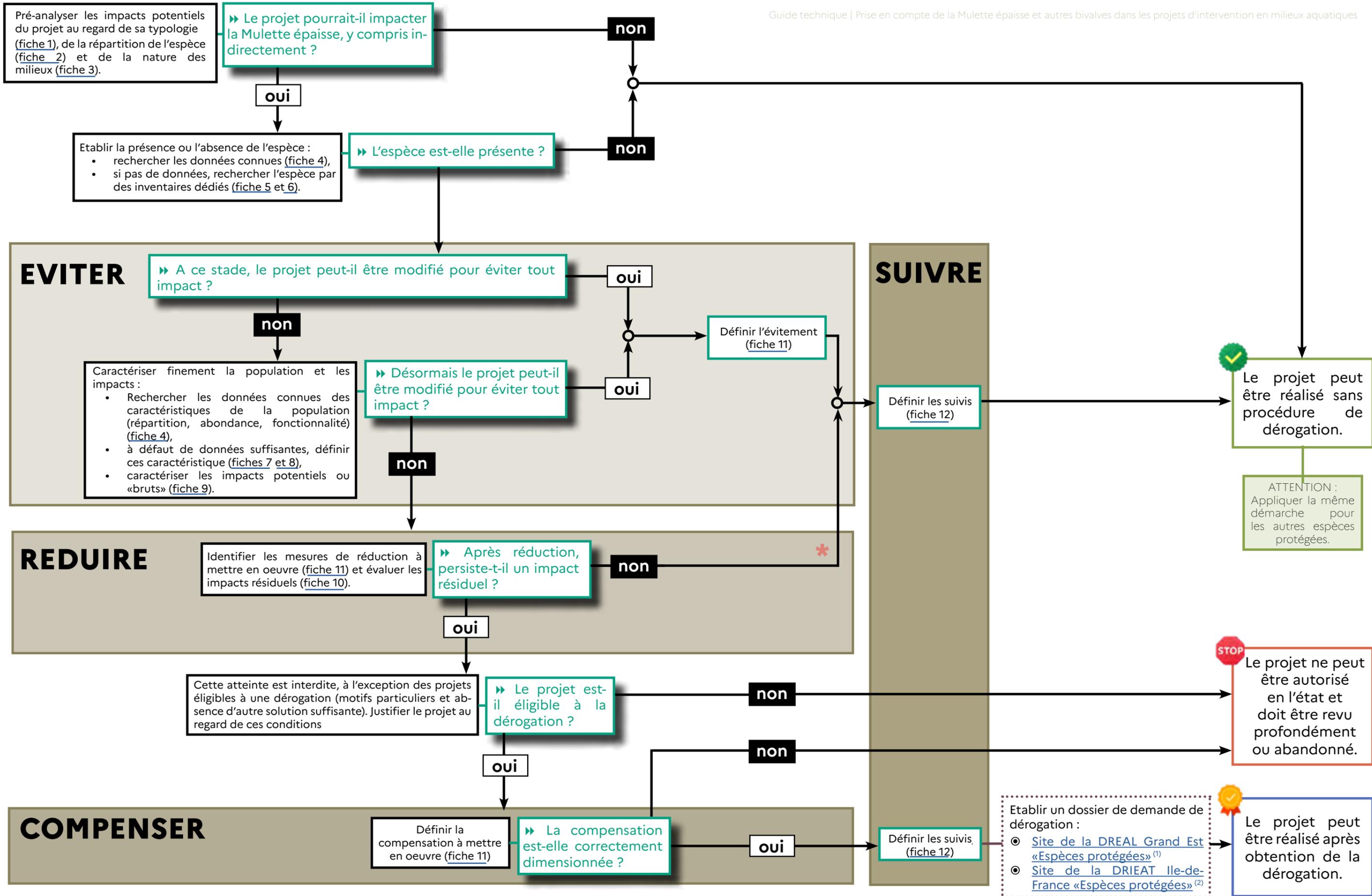
Introduction	3
Comment utiliser ce guide ?	5
Logigramme	9
■ Fiche 1 : Quels types de projets sont concernés ? – Activités devant prendre en compte l'espèce	11
■ Fiche 2 : Répartition géographique de la Mulette épaisse	12
• France	12
• Situation en Grand-Est	13
• Situation en Île-de-France.....	14
• Précaution à prendre concernant la répartition de l'espèce	16
■ Fiche 3 : Quels milieux pour la Mulette épaisse ?	17
■ Fiche 4 : Rechercher les informations sur la présence de la Mulette épaisse	20
■ Fiche 5 : Détecter l'espèce - les méthodes	21
• L'ADN environnemental.....	21
• L'approche probabiliste	22
• L'approche raisonnée	22
• Peut-on dire que la Mulette épaisse est absente de l'aire d'étude ?.....	23
■ Fiche 6 : Les techniques de recherches et de localisation physique de l'espèce dans une aire d'étude donnée	24
• Spécificité de la recherche des moules et mise en garde	24
• L'ADN environnemental.....	25
• Technique de l'aquascope.....	25
• Technique du tellinier ou de la tellinière.....	27
• Technique de recherche en Palmes - Masque - Tuba (PMT)	28
• Prospections en plongée hyperbare	29
• Quelques éléments régissant la plongée professionnelle et les aspects réglementaires, Arrêtés de 2011 et 2019.....	30
• Technique du dragage.....	31
• Anticiper le calendrier	32
• Préconisations de mise en œuvre.....	32
■ Fiche 7 : Estimer la répartition et l'abondance	33
• Comptage par unités de temps	33
• Méthodes probabilistes	33
• Techniques ou unités d'observations associées aux méthodes probabilistes	35
• Quadrats.....	35
• Transects	35
• Méthodes de capture – marquage – recapture	37
• Conclusion sur les méthodes d'estimation de l'abondance et de l'extension spatiale des individus.....	37
■ Fiche 8 : Estimer la viabilité des populations dans les aires d'étude	38

Table des matières

■ Fiche 9 : Caractérisation des impacts	39
• Impacts directs sur les individus et leur habitat	39
• Phase adulte.....	39
• Phase juvénile	40
• Impacts indirects	41
• Impacts sur le milieu	41
• Impacts sur les poissons-hôtes	41
• Impacts des espèces exotiques envahissantes	42
■ Fiche 10 : Les impacts résiduels	43
• Cas général.....	43
• Cas spécifique de la pêche de sauvegarde.....	43
■ Fiches 11 Mesures Eviter – Réduire – Compenser (ERC)	44
• 11.1 Abandon du projet.....	46
• 11.2 Redéfinition du projet	47
• 11.3 Mettre en défens les berges.....	48
• 11.4 Assurer l’abreuvement des animaux d’élevage	51
• 11.5 Franchissement de cours d’eau pour animaux et/ou engins agricoles.....	53
• 11.6 Création d’une bande de protection végétalisée sans plantations.....	55
• 11.7 Création d’une bande d’une ripisylve pérenne	57
• 11.8 Pêche de sauvegarde des individus	59
• 11.9 Améliorer le déplacement des poissons hôtes.....	63
• 11.10 Lutte contre les espèces prédatrices exotiques envahissantes	65
• 11.11 Améliorer le milieu pour l’accueil des poissons hôtes	67
• 11.12 Assurer un débit minimum	69
• 11.13 Abattre la matière en suspension issue de travaux et/ou perturbation.....	70
• 11.14 Abattre la matière en suspension et limiter les risques de pollution provenant du lit majeur	72
• 11.15 Organisation du chantier dans le temps et dans l’espace	73
• 11.16 Franchissement de cours d’eau par des techniques en sous-œuvre.....	74
• 11.17 Adapter les matériaux en cas de blocage transversal temporaire du cours d’eau	75
• 11.18 Adaptation de la configuration des ouvrages d’arts pour franchir les cours d’eau	76
• 11.19 Effacement / arasement de seuils pour rétablir la continuité écologique et sédimentaire.....	77
• 11.20 Recharge sédimentaire	78
■ Fiche 12 : Les suivis	79
• 12.1 : Suivi des individus déplacés.....	80
▶ Principe du suivi	80
▶ En pratique.....	80
▶ Mode opératoire synthétique	81
• 12.2 : Suivis ou études expérimentales-témoin avant-après	82
▶ Objectif global.....	82
▶ Principe général.....	82
▶ Exemple d’application.....	82

Table des matières

■ Fiche 13 : Le cas particulier de la restauration écologique	84
■ Annexe I - Biologie et écologie de la Mulette épaisse.....	91
• Généralités.....	91
• Cycle biologique	91
• Croissance	93
• Structure des populations de la Mulette épaisse	95
▶ Mode de distribution.....	95
■ Annexe II - Conservation, protection de la Mulette épaisse et principales menaces.....	96
• Conservation	96
▶ Monde	96
▶ Europe	96
▶ France	96
▶ Grand Est et Île de France.....	96
• Protection.....	96
▶ Europe	96
▶ France	96-97
▶ Grand Est et Île de France.....	97
• Principales menaces	97
▶ Pollution.....	97
▶ Modification du régime hydro-morphologique.....	97
▶ Prédation	98
▶ Réchauffement climatique.....	98
■ Annexe III - Autres espèces de bivalves patrimoniaux	99
• L'Anodonte comprimée <i>Pseudanodonta complanata</i>	99
▶ Statut de conservation.....	99
▶ Répartition	99
• La Mulette des rivières <i>Potomida littoralis</i>	100
▶ Statut de conservation.....	100
▶ Répartition	100
• La Cyclade des fleuves <i>Sphaerium solidum</i>	101
▶ Statut de conservation.....	101
▶ Répartition	101
• La Grande Cyclade <i>Sphaerium rivicola</i>	102
Statut de conservation.....	102
Répartition	102
■ Références	103



* Selon la nature des mesures de réduction (par exemple, si cela nécessite une manipulation d'individus), une dérogation peut être nécessaire. A voir au cas par cas, avec les services de l'Etat compétents localement.

(1) <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/especes-protegees-r210.html>

(2) <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/especes-protegees-r1236.html>

Logigramme

Fiche 1

Quels types de projets sont concernés ?

Activités devant prendre en compte l'espèce

Étant strictement inféodée aux cours d'eau, toute activité qui touche directement ou indirectement le lit mineur, berges comprises, peut impacter l'espèce si elle est présente, et peut par conséquent nécessiter une réflexion poussée sur la mise en œuvre de la séquence ERC (voir logigramme).

Cela comprends tous les projets soumis ou non à procédure de déclaration ou d'autorisation au titre de la loi sur l'eau :

- Les installations, ouvrages, travaux, aménagements en cours d'eau, canaux, ou en milieu aquatique (IOTA), avec par exemples : la construction d'ouvrages d'art franchissant les cours d'eau, tous les types d'entretiens de cours d'eau, les recherches archéologiques ou non en milieux aquatiques et subaquatiques, tout type de travaux de restauration écologique des cours d'eau, les captage d'eau potables et pour l'irrigation agricole ;
- Les prélèvements, en particulier s'ils conduisent à modifier le régime d'écoulement naturel ou actuel du cours d'eau (par exemple : assécher le cours d'eau) ;
- Les rejets, notamment ceux qui conduisent à modifier les propriétés naturelles ou actuelles du cours d'eau (par exemple : augmentation turbidité, modification de la température, etc.).

A cela s'ajoute d'autres projets susceptibles d'avoir des impacts indirects sur la Mulette épaisse :

- Modification de l'usage du sol dans le corridor fluvial ;
- Coupes forestières ou arrachages de haies dans le corridor fluvial.

L'évaluation des impacts peut être réalisée dans le cadre d'un dossier loi sur l'eau, d'une étude d'impact, d'une autorisation environnementale, d'une étude d'incidence, d'une évaluation des incidences Natura 2000 ou d'une demande de dérogation espèces protégées.

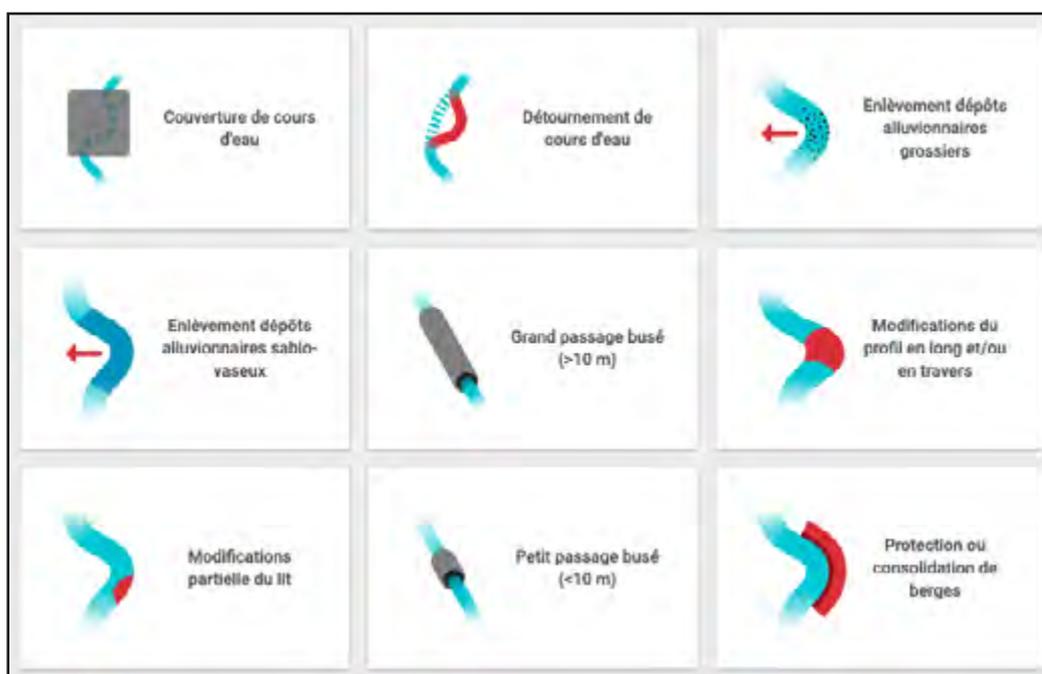


Figure 1 : Exemples de type de travaux nécessitant une évaluation des impacts (source : référentiel technique des travaux en rivière, <https://patbiodiv.afbiodiversite.fr/>). Ce schéma est non exhaustif.

• France

La figure 2 illustre la répartition de l'espèce dans les cours d'eau français d'après les données disponibles en 2020 et la figure 3 représente la modélisation des rivières favorables à l'espèce obtenues à partir des données disponibles en 2014. La Mulette épaisse a vraisemblablement recolonisé l'Europe à l'époque post glaciaire à partir de zones refuges situées dans les Balkans et/ou dans la région du Caucase. La France constitue la limite occidentale de son aire de répartition, ce que reflète sa répartition localement, avec les plus grosses populations situées dans le tiers nord-est du pays. On l'a longtemps crue absente du sud du bassin de la Loire, mais des observations récentes par ADNé et observations directes montrent qu'elle est présente de manière marginale dans les bassins de la Charente et dans les ruisseaux de tête de bassin de la Dronne. Bien qu'il existe quelques données muséologiques, elle n'a jamais été retrouvée dans le bassin de la Dordogne. Elle était considérée rare et localisée (voire disparue) dans quelques stations de la Camargue et de l'aval du Rhône. Des analyses ADNé ont montré récemment qu'elle semble être bien présente dans le Rhône, jusqu'à l'aval, où elle était passée inaperçue.

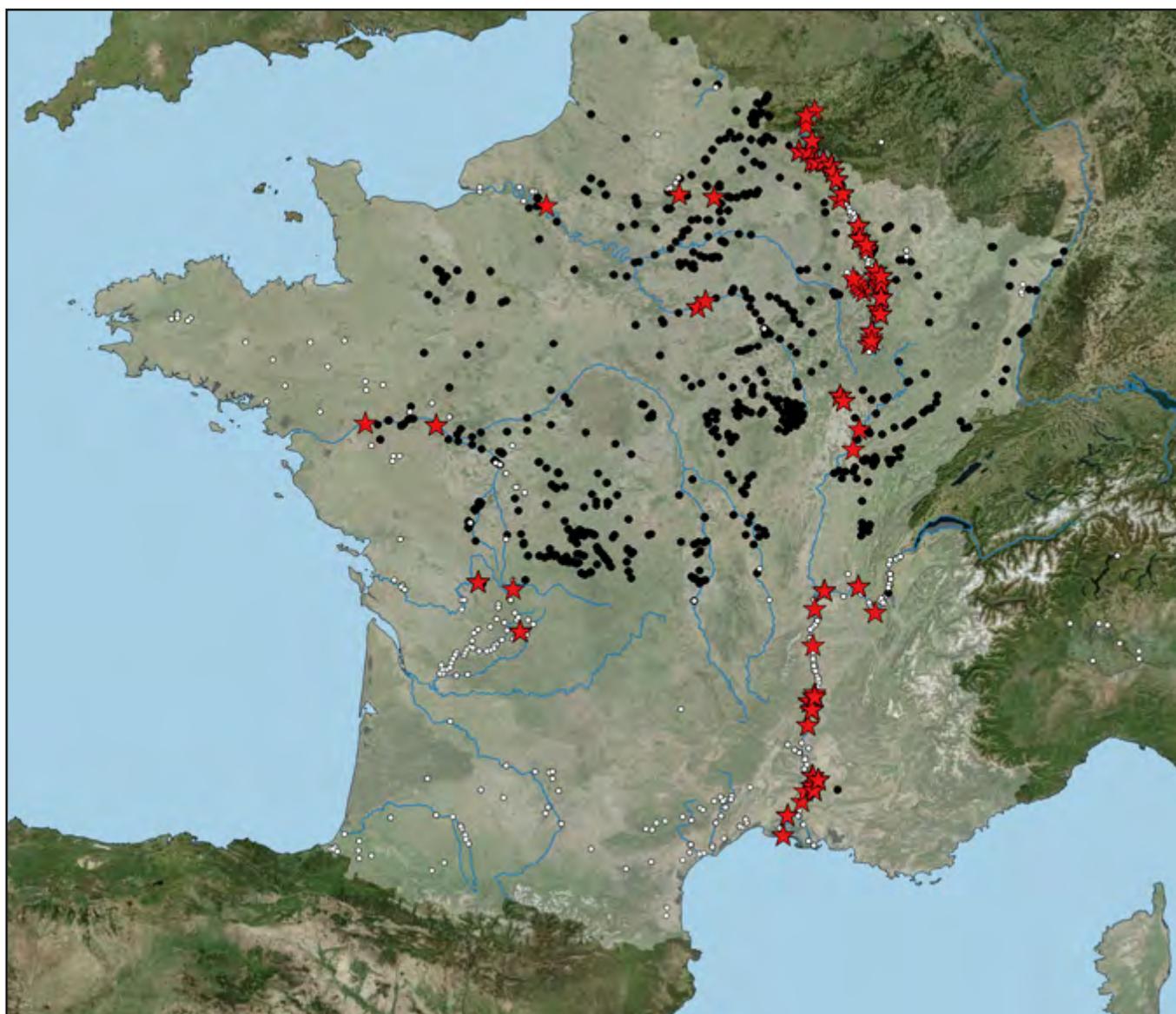


Figure 2 : Répartition en France de la Mulette épaisse *Unio crassus*. Points noirs : données disponibles (anciennes et récentes, coquilles et individus vivants confondus) ; Etoiles rouges : données de présence d'après les prélèvements ADNé réalisés entre 2015 et 2020; Ronds blancs : données d'absence d'après les prélèvements ADNé sur la même période, Cercle rouge : occurrences isolées des bassins de la Charente et de la Dronne.

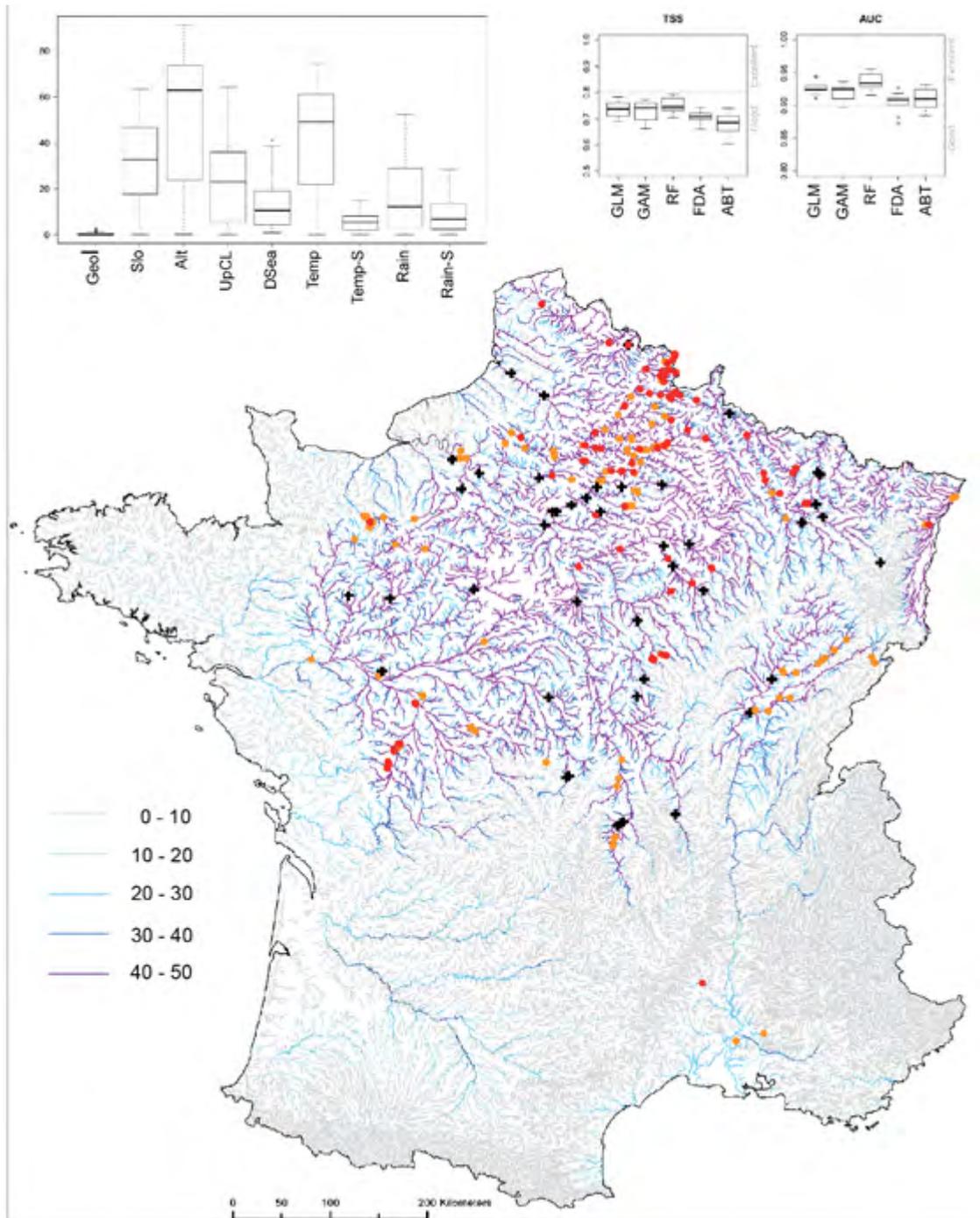


Figure 3 : Modélisation de l'habitat de la Mulette épaisse d'après Prié et al. (2014). Les données disponibles à l'époque étaient incomplètes, mais il est intéressant de noter que l'amont de la Charente et dans une moindre mesure le Rhône étaient déjà considérés comme favorable à l'espèce d'après les modèles.

• Situation en Grand Est

Selon Lamand & Cucherat (2021), la Mulette épaisse est souvent mentionnée sous le nom d'*Unio batavus* ou *batava* avec différentes autorités par les naturalistes de la période 1800 – 1920. Elle était indiquée de la rivière Moselle et la Seille (Joba 1844), comme assez commune et vivant dans la Moselle, la Meurthe, le Durbion, la Meuse, dans l'Orne (Holandre 1836) et le Vair (Godron 1862). Elle est citée près de Sarreguemine, dans la Sarre, la Blies et indiquée comme « pas rare » dans la Nied (d'après Boettger (1912) cité par Kieffer 1921). À ce jour, en Grand Est, c'est le bivalve pour lequel il y a le plus de données. Il s'agit manifestement d'un biais, puisque l'essentiel des recherches s'est focalisé sur cette mulette, du fait de son statut de protection et des enjeux de conservation qui lui sont associés. La concentration des observations par département reflète les études spécifiques (Lamand & Beisel 2014a,b) et/ou réglementaires menées sur l'espèce, ce qui se traduit par une inégalité spatiale des observations.

Les départements de la Marne et de la Moselle montrent très peu d'observations. À ce stade, compte tenu du biais lié à sa recherche, le nombre de site dans les bases de données ne constitue pas un indicateur de vitalité de l'espèce à l'échelle de la région Grand Est.

La Mulette épaisse est présente dans la quasi-totalité des grands bassins hydrographiques de la région Grand Est (Lamand & Cucherat 2021) . La figure 4 montre l'état des connaissances sur la Mulette épaisse en Grand Est.

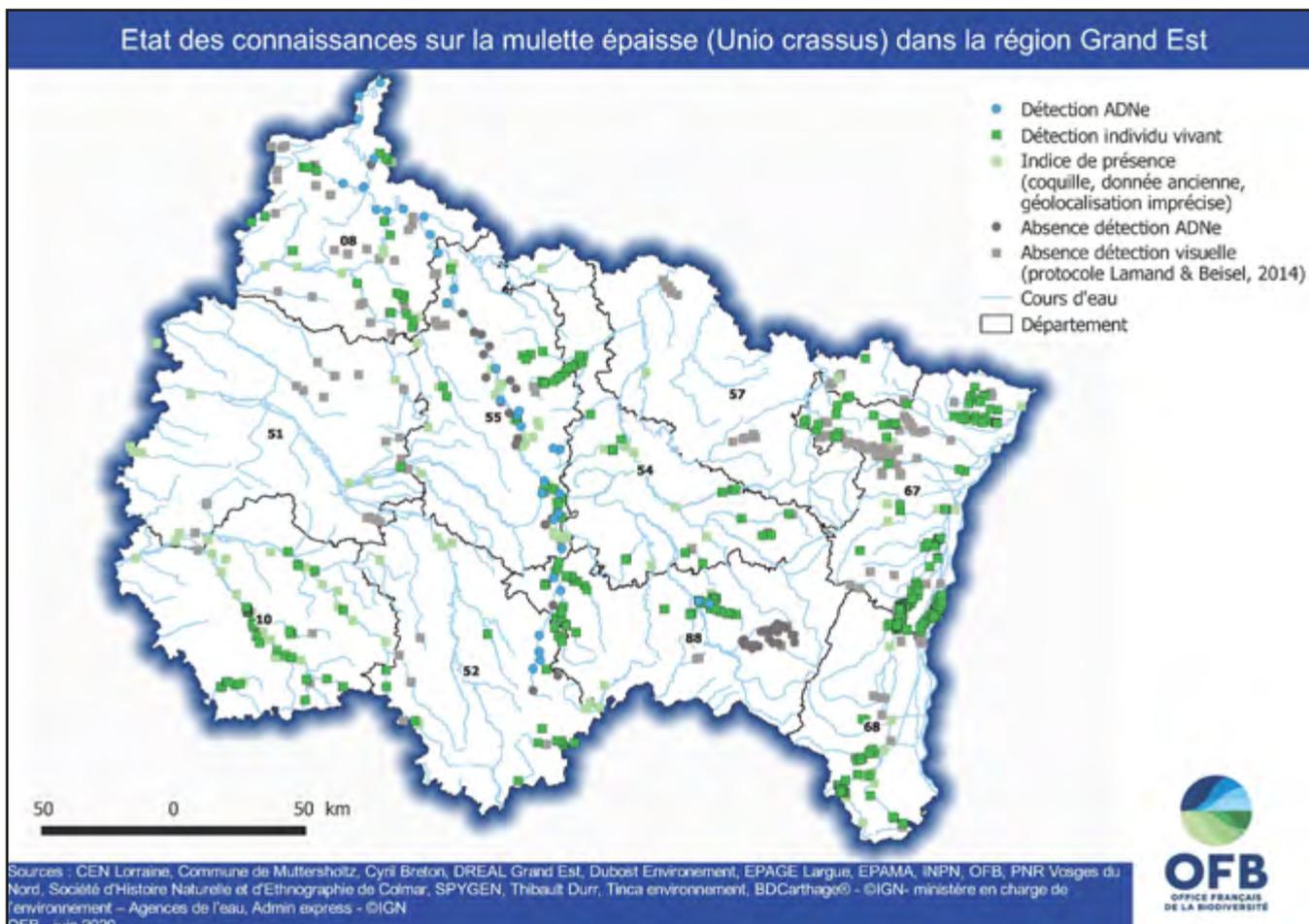


Figure 4 : Etat des connaissances (détections et non détections 2007-2020) de la Mulette épaisse dans la région Grand Est (Atlas cartographique des Naïades en Grand Est, Lamand 2020).

• Situation en Île-de-France

La connaissance est de bien moins bonne qualité qu'en Grand-Est. L'espèce est présente mais les données d'occurrences d'individus vivants sont plus éparées. Elles correspondent à des observations opportunistes ou à des études réglementaires. Une compilation des observations est disponible dans Biotope (2010). Les éléments concernant l'Île-de-France sont tirés de cette étude, mais nécessitent une mise à jour.

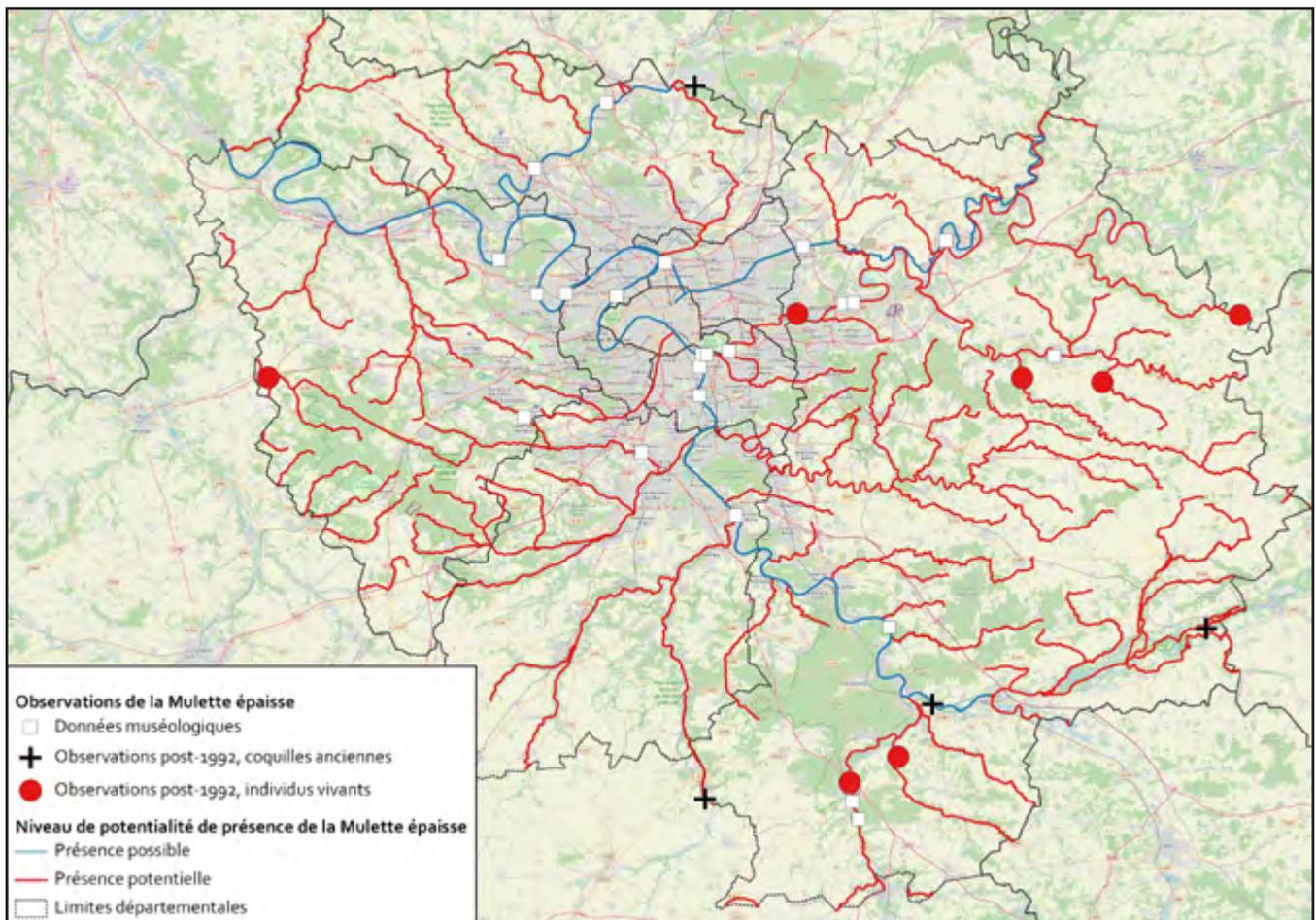


Figure 5 : Cartographie des cours d'eau potentiels pour la Mulette épaisse (*Unio crassus*) en région Île-de-France (adapté de Biotope 2011 avec les données récemment acquises, cf. texte) (Fond de carte : © OpenStreetMap).

En se référant à la synonymie actuelle, la Mulette épaisse est citée par Pascal (1873), sous le nom d'*Unio batavus*, sans préciser l'autorité. Dans cette source bibliographique, la Mulette épaisse est indiquée de la Seine, de l'Oise, de la Marne et de l'Yvette. Locard (1881) indiquera de nombreuses autres localités dans les mêmes cours d'eau. Il n'est pas possible de vérifier les indications de Pascal (1873), mais celles de Locard (1881) peuvent l'être puisqu'il existe de nombreux spécimens de sa collection conservés au Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN). Quideau (1952a, 1952b, 1953, 1954a, 1954b, 1966) indiquera successivement la présence de la Mulette épaisse dans le Loing, ainsi que dans la Seine. Les informations de Quideau ne sont pas vérifiables non plus, compte tenu qu'aucune collection n'a pu être consultée. La présence de l'espèce dans le Loing est avérée sur la base de spécimens confirmés moléculairement (Prié & Puillandre 2014).

Il existe de nombreux spécimens de Mulette épaisse récoltés dans des localités non publiées au sein des collections du MNHN. On notera néanmoins que l'essentiel des récoltes franciliennes des spécimens de cette moule se concentre de la moitié du XIX^e siècle à la fin des années 1960. Quelques coquilles présentant un aspect récent ont été récoltées à la fin des années 1980. Des coquilles vides mais récentes proviennent de la haute vallée de l'Essonne (Cucherat non publié), tandis que des coquilles anciennes proviennent de la Seine et de la vieille Seine (Cucherat non publié). Plus récemment, les services de l'OFB (EX-Onema) du département des Yvelines ont trouvé des spécimens vivants de cette mulette dans l'Opton, sur la commune de Houdan (Emmanuelle Jean, in litt. 20 avril 2010). L'espèce a été observée vivante dans la Marne à Chelles (Loiseau 2017).



Ainsi, à partir des spécimens conservés au MNHN, des données issues de références bibliographiques (considérées avec précaution) et des données récentes, la Mulette épaisse a été observée dans les cours d'eau suivant : la Seine, la Marne, l'Oise, le Loing, l'Essonne, le grand Morin, la Mérantaise, l'Opton, l'Aubetin, le Vannetin et l'Yvette. On notera également que des spécimens de la Mulette épaisse ont jadis (fin XIX^e) été récoltés dans le canal de l'Ourcq et dans le Canal Saint-Denis.

• **Précaution à prendre concernant la répartition de l'espèce**

Les éléments présentés ici reflètent l'état actuel des connaissances. Cela signifie que l'absence d'information ou de données d'occurrence dans un cours d'eau ou un tronçon de cours d'eau ne signifie pas systématiquement l'absence de l'espèce. Il en est de même pour les données de non-détection. Ces données indiquent que l'espèce n'a pas été contactée lors de prospections (la détection dépend de nombreux paramètres, cf. fiches suivantes), mais elles ne signifient pas pour autant que l'espèce soit absente des secteurs étudiés. Par conséquent, une vérification systématique est à entreprendre avant de conclure à l'absence de la Mulette épaisse.



Fiche 3

Quels milieux pour la Mulette épaisse ?

La Mulette épaisse vit préférentiellement dans les rivières. Le gabarit du cours d'eau ainsi que son débit n'ont pas d'importance, puisqu'elle peut être présente dans des petits ruisseaux de moins d'un mètre de large à des cours d'eau de plusieurs centaines de mètres de large. Elle peut, aussi être observée dans des remous liquides ou dans les biefs (ouvrages hydrauliques), et même historiquement dans les lacs (où elle peut encore être observée ailleurs en Europe).

La Mulette épaisse est capable de vivre dans des rivières où le débit solide et le courant sont faibles, quasi stagnants, avec des substrats vaseux et sableux, où elle se maintient au niveau des sources fraîches. Elle est donc présente dans une grande variété de milieux (figures 6 A-D). Jusqu'à ce jour, il n'y a pas de connaissance de l'occurrence de l'espèce dans les systèmes récents de drainage de parcelles agricoles (fossés, rigoles), mêmes s'ils sont connectés à des cours d'eau dans lesquels elle vit. De même, la présence de l'espèce dans les gravières (anciennes ou non) connectées au cours d'eau n'est pas prouvée.

Vivant plusieurs dizaines d'années de façon quasi sédentaire (elle est capable de se déplacer sur une dizaine de mètres, mais n'entame pas de migration), elle a besoin d'un substrat relativement stable. Elle est donc très certainement absente des cours d'eau à régime hydraulique torrentiel (figure 7 A-B) et/ou des cours d'eau avec un transport solide important, comme par exemple les rivières en tresse et celles charriant blocs et galets (figure 7 C).

Elle est absente des zones marécageuses, stagnantes et peu oxygénées, des mares et des étangs artificiels (figure 7 E-F). En l'état actuel, elle n'est pas connue non plus dans les milieux saumâtres, estuariens ou des lagunes littorales (figure 7 G). Enfin, bien que plus tolérante à la qualité de l'eau que d'autres espèces de bivalves, elle est absente des zones très polluées (impropres à la faune aquatique, figure 7 H).

La Mulette épaisse est une espèce strictement aquatique. Elle est donc absente des cours d'eau temporaires. Cependant, sa capacité à fermer ses valves et à s'enfouir lui permet de subsister à une courte période d'assec. En revanche cette survie est dépendante d'une multitude de paramètres (température de l'air, de l'eau résiduelle, nature et épaisseur du substrat, présence d'un sous-écoulement, ...) peu étudiés à ce jour. Il n'est donc pas possible d'évaluer le taux de survie des individus en cas d'assèchement. Elle n'est pas présente dans les zones oligotrophes où la quantité de nourriture est limitante (ex. petits cours d'eau de têtes de bassins de haute et de moyenne montagne, sources figure 7 D).

Dans les grands cours d'eau (plus de 20 m de large), les Mulettes épaisses ont tendance à être concentrées aux endroits où le courant et les forces de cisaillement sont les moins forts. Mais elles ne peuvent être exclues des zones de courant plus fort, c'est pourquoi il est important de la rechercher dans tous les types d'habitats (ex. berges, embâcles, végétation aquatique, endroits abrités du courant tels que des blocs rocheux ou des piles de pont, sous les arbres, le tissu racinaire des berges, etc.).

Le milieu doit également être favorable aux poissons hôtes, qui sont indispensables pour assurer son cycle biologique. Toutefois, elle peut être présente dans des sections de cours d'eau où il peut y avoir une absence temporaire de ces poissons. Elle peut également survivre plusieurs années après la disparition de ses poissons-hôtes, mais sans recrutement (cf. paragraphe « biologie »).



Figure 6 : la Mulette épaisse peut vivre dans une grande variété de milieux : petits cours d'eau canalisés comme l'Hozain (A), éventuellement sur substrat vaseux (B), cours d'eau de taille moyenne en plaine agricole (C), grands cours d'eau dans le chenal principal graveleux (D). Crédit photos Vincent Prié.



Figure 7 : ces milieux ne sont pas favorables à la Mulette épaisse : cours d'eau torrentiels de montagne (A) ou cours d'eau subissant de fortes crues comme en zone méditerranéenne (B), cours d'eau très dynamiques, en tresse, généralement au pied des massifs montagneux (C), sources ou têtes de bassin oligotrophes (D), mares (E) ou marais (F) oligotrophes à fond vaseux, estuariers et zones de transition saumâtres (G), zones très polluées (H). Crédit photos A et B, Laurent Philippe ; photos C à H, Vincent Prié.

Rechercher les informations sur la présence de la Mulette épaisse

La démarche consiste à situer le projet par rapport aux éléments de connaissance acquis sur la Mulette épaisse. Il est entendu comme éléments de connaissance, des informations relatives à la répartition des occurrences (l'espèce est-elle présente ?), à l'abondance (combien d'individus y-a-t-il ?) et la fonctionnalité de la population (la population se reproduit-elle ?).

Les différentes structures qui possèdent des informations sur les bivalves sont les suivantes :

- Consulter la base de connaissance de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) (<https://inpn.mnhn.fr/accueil/recherche-de-donnees/coll-terr>) pour déterminer si la ou les communes concernées par le projet comportent des données d'occurrences sur la Mulette épaisse. Les données sont de nature qualitative uniquement, il n'y a pas d'information sur l'abondance et la fonctionnalité de la population.
- Consulter la base de données (BDD) naturalistes des plateformes naturalistes d'Île-de-France (<https://cettia-idf.fr/>) ou de Grand Est (<https://www.odonat-grandest.fr/>) pour déterminer si des données d'occurrences sur la Mulette épaisse existent sur la ou les communes concernées par le projet. Les Conservatoires d'espaces naturels de Champagne-Ardenne ou de Lorraine possèdent également des informations de nature qualitative. L'accès aux données peuvent parfois nécessiter que le porteur de projet ou le prestataire mandaté par le porteur de projet ait un compte sur ces bases de données. L'achat de données peut être envisagé à l'issue de la consultation des bases de données régionales, si le projet ne concerne pas un porteur de projet public. Les données sont de nature qualitative, mais il peut exister des informations sur l'abondance et sur la fonctionnalité des populations.
- La direction régionale Grand Est de l'OFB possède une base de données sur les bivalves à partir de laquelle un atlas cartographique sur les naïades a été réalisé. Cet atlas est disponible sur le site internet de la DREAL Grand Est, les cartes sont visualisables sur l'outil cartographique : <http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/cartes-especes-r7133.html>. La DRIEAT et la direction régionale Île-de-France possèdent également des informations sur les bivalves. Pour ces structures, les données bancarisées sont principalement de nature qualitative, mais il peut exister des informations sur l'abondance et sur la fonctionnalité des populations.

Fiche 5

Détecter l'espèce - les méthodes

Nous exposons ici trois approches possibles pour mettre en évidence la présence de la Mulette épaisse. Dans tous les cas, le porteur de projet devra bien justifier de la méthode choisie.

- L'approche moléculaire, par analyse de l'ADN environnemental. Cette approche permettra de dire si l'espèce est présente sur un plus ou moins grand linéaire de cours d'eau à l'amont de ce point ;
- l'approche probabiliste, qui consiste à déterminer une surface minimale de l'aire d'étude à prospecter pour détecter au moins un individu de l'espèce, tout en donnant un degré de certitude de cette détection ;
- l'approche raisonnée, qui consiste à rechercher l'espèce selon diverses techniques. Avec cette approche, les protocoles et méthodes utilisées ne permettent pas de mesurer l'incertitude de la détection mais elle peut être intéressante si elle permet de conclure à la présence de l'espèce. En revanche, sans un effort de recherche élevé (voire très élevé), elle peut difficilement réfuter l'absence.

• L'ADN environnemental

Les inventaires d'espèces dulçaquicoles par analyse de l'ADN environnemental (ADNe) se sont développés depuis une dizaine d'années. La technique est au point et reconnue pour être efficace pour les bivalves dulçaquicoles de France (voir Prié *et al.* 2021 a, b, c). L'analyse de l'ADNe permet de détecter la totalité des espèces de bivalves de France, ce qui apporte en outre des informations sur la répartition des espèces méconnues, des espèces rares et des espèces envahissantes. Un prélèvement d'eau pour l'analyse de l'ADNe permet d'inventorier les bivalves sur une distance évaluée à 5 à 10 kilomètres de cours d'eau. Il y a toutefois des limites inhérentes à la méthode : la distance de détection varie en fonction de plusieurs paramètres (abondance des bivalves, vitesse du courant, turbidité, qualité de l'eau...) et la localisation précise des individus n'est pas possible ; les résultats ne donnent qu'une indication très vague de l'abondance des espèces. La détection de l'ADNe peut être comparée à une odeur, dont l'intensité dépendrait de la source, du vent... et du nez, soit ici le protocole d'échantillonnage. Il conviendra de confier les analyses ADNe à des laboratoires utilisant des méthodes éprouvées et standardisées¹.

L'analyse de l'ADNe constitue actuellement la méthode la plus fiable pour détecter l'espèce. Un résultat négatif est donc suffisant pour considérer que la Mulette épaisse est absente du site étudié, pourvu que l'on ait mis en place les standards qui garantissent un taux de détection supérieur à 95% (filtration de deux réplicats de 30 litres d'eau, 12 réplicats PCR.... voir Prié *et al.* 2021 b).

Si le résultat est positif, il doit être complété par une des deux autres approches (probabiliste ou raisonnée) pour localiser les individus. Cette approche est donc particulièrement intéressante dans les bassins versants où l'information est lacunaire, notamment dans le cadre de projets portant sur un grand linéaire de cours d'eau ou des cours d'eau dont la profondeur rend la plongée nécessaire.

Si le choix a été fait de réaliser au préalable une analyse ADNe, il faut bien noter que l'analyse des prélèvements prend actuellement trois mois. Par ailleurs, il est déconseillé de réaliser ces prélèvements en hiver, quels que soient les régimes de crue du cours d'eau. Ils doivent idéalement être réalisés quand les individus sont actifs, soit entre le printemps et l'automne.

¹ Il n'existe pas actuellement de standards permettant de garantir la fiabilité des résultats obtenus par analyse de l'ADNe. Si plusieurs méthodes peuvent être proposées (et donc plusieurs budgets...), la détection d'espèces rares nécessite la mise en œuvre de protocoles plus lourds pour éviter les faux négatifs, soit la non détection d'une espèce pourtant présente sur le site.

• L'approche probabiliste

Le but de l'approche probabiliste est de permettre la détection de la Mulette épaisse avec un certain degré de certitude dans une aire d'étude donnée. Elle a pour but d'éviter de conclure à l'absence de l'espèce dans une aire d'étude donnée, alors qu'elle est réellement présente. Sur le plan théorique, les fondements de cette démarche reposent sur la détermination des erreurs de type II dans les tests d'hypothèses en statistiques. Une erreur de type II revient à rejeter une hypothèse donnée, donc de dire qu'elle n'est pas vraie, alors qu'elle l'est en réalité.

La probabilité de détection de la Mulette épaisse dans une aire d'étude est liée à son abondance (ou sa densité si cela est rapporté à une surface), sa répartition spatiale, l'effort d'observation et l'efficacité des recherches dans l'aire d'étude. L'efficacité des recherches dans l'aire d'étude est également nommée détectabilité ce qui correspond à la probabilité de détecter un individu sachant qu'il est présent dans l'aire d'étude.

La formulation mathématique pour déterminer la probabilité de détecter au moins un individu est tirée de Smith (2006) :

$$P(C > 0) = 1 - e^{-\beta a \mu}$$

avec C = le nombre d'individus, β = la détectabilité, a = la surface prospectée, μ = la densité de l'espèce.

Fixer une certaine valeur de probabilité de détection (au moins un individu) $P(C > 0)$ est un choix qui doit être justifié, puisqu'il implique une notion de risque de non détection. Par exemple, si on fixe la probabilité de détecter au moins un individu à 100 %, c'est-à-dire $P(C > 0) = 1$, alors cela revient à couvrir toute l'aire d'étude de manière précise. Cela signifierait qu'il faudrait regarder précisément chaque mètre carré (voire centimètre carré) de l'aire d'étude pour détecter une Mulette épaisse, ce qui est techniquement et logistiquement impossible. Nous suggérons de fixer la probabilité de détecter l'espèce à 85 %, soit $P(C > 0) = 0.85$, qui est une valeur raisonnable et acceptable.

Cette approche n'est mise en œuvre que de manière exceptionnelle (elle n'est quasiment pas connue des bureaux d'étude), parce que i) il existe très peu de données publiées sur les densités de la Mulette épaisse et que ii) les contraintes budgétaires des pétitionnaires limitent sa mise en œuvre. Son déploiement permettrait pourtant de sécuriser les projets.

• L'approche raisonnée

L'approche raisonnée est la plus simple des approches de recherche. C'est celle qui est la plus pratiquée par les prestataires. Elle consiste à rechercher l'espèce de manière opportuniste dans l'aire d'étude, quelle que soit la technique adoptée. Malheureusement, cette approche raisonnée ne peut pas apporter des éléments aussi précis que la méthode probabiliste en ce qui concerne l'effort d'observation. Elle ne garantit pas le fait que l'espèce soit absente de manière certaine. Elle ne permet pas non plus d'avoir une idée précise de l'abondance de l'espèce dans la section de cours d'eau étudiée.

Dans le cas où l'approche raisonnée est néanmoins choisie, il est recommandé de faire figurer dans le rapport d'étude le nombre de personnes qui ont participé aux prospections dans la rivière, le temps passé, le linéaire parcouru, les conditions de prospection et les éventuels obstacles à la prospection (profondeur, embâcles, luminosité, turbidité...).

Pour une campagne de recherche considérée comme complète sur le plan qualitatif, Lamand & Beisel (2014b) suggèrent d'effectuer des prospections sur un linéaire de cours d'eau au moins équivalent à 7 fois sa largeur à plein bord. Cette longueur de prospection permet, sur la base de leurs analyses de terrain, de confirmer la présence de mulettes (toutes espèces confondues et non spécifiquement la Mulette épaisse) dans 88 % des cas. La recherche sur un linéaire équivalent à 14 fois la largeur du cours d'eau, à plein bord, permettrait de détecter la totalité des espèces vivantes présentes dans 96 % des cas. Avec un linéaire de 21 fois la largeur à plein bord, 100 % des espèces vivantes sont détectées. Cette approche méthodologique n'a été déterminée que sur des cours d'eau prospectables à pieds.

Pratiquement, on estime que deux opérateurs expérimentés peuvent prospecter un à deux kilomètres d'une rivière de moins de 10 m de large en une journée, si la profondeur permet des prospections à l'aquascope.

• Peut-on dire que la Mulette épaisse est absente de l'aire d'étude ?

Prouver l'absence est impossible et constitue l'une des principales limites des approches naturalistes, quels que soient les groupes considérés¹. L'approche raisonnée permet seulement de dire que l'espèce n'a pas été trouvée. L'approche probabiliste permet de formuler l'hypothèse de l'absence avec un niveau de confiance qui dépendra de l'effort d'observation (par exemple la surface de prospection), mais ne sera jamais de 100 %. L'analyse de l'ADNe semble aujourd'hui la méthode la plus fiable, avec un effort raisonnable, pour détecter l'espèce. L'absence de détection par analyse de l'ADNe permet donc de corroborer avec un degré de certitude élevé l'absence de l'espèce sur une section de cours d'eau. Nous n'avons pas actuellement de contre-exemple (faux-négatifs), alors que le taux d'échantillonnage sur la France est très important. A l'inverse, l'analyse de l'ADNe a très souvent permis de détecter la Mulette épaisse alors qu'elle n'était pas connue malgré des prospections naturalistes poussées (ex. à l'aval du Rhône ou à l'amont de la Charente, voir Prié *et al.* 2021). Toutefois, cette méthode ne permet pas d'identifier précisément la localisation et l'étendue de la population émettrice de l'ADN. Pour ces raisons, cette analyse pourra être proposée en préalable sur des sections de cours d'eau ou bassins versants où l'espèce n'est pas connue, et où les données d'occurrences sont anciennes.

Selon les cas, il peut donc être intéressant de tester l'hypothèse d'absence de l'espèce par une analyse de l'ADNe.



¹ La démarche hypothético-déductive sous-tendant la recherche d'une espèce revient à poser l'hypothèse suivante H0 stipulant que ladite espèce est absente de l'aire d'étude et H1, hypothèse alternative, l'espèce est présente. Selon Popper (1985), il n'est pas possible de démontrer que l'hypothèse H0 est vraie, mais uniquement de la réfuter (ou la falsifier, deux termes synonymes pour K. Popper), ce qui revient à accepter H1.

Avec l'approche raisonnée, on ne peut pas certifier l'absence de l'espèce avec un niveau de confiance, parce que l'approche ne permet pas de mesurer l'effort d'observation réellement consenti (à moins de regarder chaque centimètre carré de l'aire d'étude). Cela ne sera possible que si plusieurs passages sont effectués. Ceci revient à tester plusieurs fois l'hypothèse H0 et conclure au bout de n passages que l'espèce n'a pas été trouvée vivante. A ce jour, seule la méthode probabiliste permet de dire avec un intervalle de confiance si l'espèce est absente d'une aire d'étude donnée.

Les techniques de recherches et de localisation physique de l'espèce dans une aire d'étude donnée

• Spécificité de la recherche des moules et mise en garde

Le choix de l'une ou l'autre des techniques de recherche présentées ci-dessus dépendra en grande partie des caractéristiques du cours d'eau. De la technique utilisée et des conditions environnementales (courant, turbidité...) dépendra la probabilité de détection, qui n'est jamais de 100 %. Toutes ces techniques seront détaillées plus loin. Quelle que soit la technique mise en œuvre, les prospections en rivière se font en principe de l'aval vers l'amont. Les prospections se déroulent généralement en été, à l'étiage, quand les conditions de visibilité, de sécurité (courant) et de confort sont les meilleures. Elles peuvent être réalisées en hiver quand les conditions sont favorables.

Un cours d'eau avec une eau limpide permet de visualiser la totalité de la surface du cours d'eau et donnent les meilleures probabilités de détection des individus non enfouis avec un aquascope. A l'opposé, le dragage ne concernera qu'un faible échantillonnage de la surface d'un grand cours d'eau, mais permettra de collecter des individus enfouis. Les prospections en plongée ou en palmes-masque-tuba sont limitées par l'angle de vue du plongeur, lequel dépendra également de la turbidité (le champ de vision peut être réduit à quelques dizaines de centimètres carrés dans de mauvaises conditions).

Enfin, la probabilité de détection dépend beaucoup de l'expérience et du savoir-faire de l'opérateur. Le « coup d'œil » qui permet de repérer l'ouverture des Mulettes enfouies ou une coquille recouverte d'algues encroûtantes s'acquière avec l'expérience (figure 8). De même, savoir où chercher (dans les berges, sous les branches d'arbres...) en fonction des caractéristiques du terrain nécessite d'avoir déjà travaillé dans des conditions variées. L'expérience de l'opérateur est une donnée importante dans le choix des méthodes : moins l'opérateur sera expérimenté, plus il devra s'entourer de méthodes exigeantes pour garantir le résultat de ses prospections. Le bureau d'étude retenu pour réaliser l'état initial devra pouvoir justifier du degré de fiabilité et du choix de son approche.

Points de vigilance

L'expérience de l'opérateur et du bureau d'étude influent grandement sur la capacité à détecter l'espèce. Premièrement, lors de l'établissement du protocole et des méthodes à utiliser en fonction des circonstances, et deuxièmement, *in situ*, lors des prospections, où la capacité à détecter l'espèce dans son milieu dépend du « coup d'œil » de l'opérateur et de son habitude des milieux et de l'observation de l'espèce ciblée. Cette capacité est encore plus déterminante lors que les prospections sont longues (fatigue) ou se déroulent dans de mauvaises conditions d'observation (turbidité, manque de lumière etc.)

Certaines méthodes comme par exemple l'emploi de caméras sous-marine n'ont pour l'instant pas fait leur preuve pour la recherche des Mulettes en rivière.



Figure 8 : L'expérience, « l'œil » de l'opérateur est une des composantes principales du succès de la recherche des mulettes en rivière. Ici, une des plus grandes espèces d'Europe fichée dans le sédiment, dans de très bonnes conditions d'observation. La voyez-vous ? Un Carambar original sera offert à celui ou celle qui la verra.

• L'ADNe environnemental

Cette technique de recherche est exposée dans la fiche relative à la détection de l'espèce. On rappellera qu'elle peut être utilisée pour déterminer la présence de l'espèce, mais elle ne permet pas de localiser précisément la position du ou des individus dans l'aire d'étude considérée.

• Technique de l'aquascope

L'aquascope (ou bathyscope ou hydroscopie, figure 9) est un outil cylindrique ou conique à fond vitré, permettant d'observer le fond des cours d'eau, lorsque l'observateur est dans le cours d'eau en s'affranchissant du reflet à la surface de l'eau. Son efficacité dépend de la profondeur et de la turbidité des cours d'eau. L'aquascope s'utilise dans des cours d'eau praticables à pied et d'une profondeur de moins de 1 m et avec une turbidité de moins de 20 cm. Au-delà, la visibilité est généralement insuffisante pour détecter les Mulettes et le bras est trop court pour capturer les individus et les identifier. Pour des raisons pratiques, il est également inefficace dans des profondeurs inférieures à 10 – 20 cm (figures 9-10). L'efficacité des recherches visuelles sans bathyscope à des profondeurs inférieures à 10-20 cm dépend de la turbulence induite par l'écoulement et des reflets du soleil sur la surface. Si l'écoulement n'induit pas de turbulences à la surface de l'eau, les prospections peuvent être réalisées sans difficulté et les individus repérés à l'œil nu. L'usage de lunettes polarisantes peut aider à s'affranchir des reflets du soleil sur la surface de l'eau. Autrement, il est recommandé de réaliser des excavations à l'aide d'une tellinière ou de refaire les prospections lorsque les niveaux d'eau sont plus importants.



Figure 9 : Prospection à l'aquascope sur un cours d'eau de faible profondeur et de bonne visibilité (crédit photo : Vincent Prié)



Figure 10 : Dans de faibles profondeurs d'eau, l'usage de l'aquascope est inefficace comme ici (crédit photo : Hélène Brault).

• Technique du tellinier ou de la tellinière

La tellinière ou le tellinier (selon les auteurs) est un outil de pêche languedocien utilisé pour récolter les tellines (bivalves marins) dans le sable (figure 11). C'est un râteau muni d'un filet de maille 1 cm environ. Il permet de racler le fond du cours d'eau et de récolter les muettes quelle que soit la visibilité, mais également de collecter les individus totalement enfouis. Il est recommandé de verser le sédiment récolté sur un tamis (de maille 5 mm ou 1 cm) pour trier et observer plus facilement les spécimens que lors d'une recherche directement dans la poche (figure 12). Un tamis d'une maille de 5 mm facilite la détection des jeunes muettes du sédiment récolté. La tellinière peut également être très efficace pour collecter les Cyclades.

La tellinière est très efficace pour prospecter les cours d'eau turbides où l'on a pied. Au-delà de 1,5 m, elle n'est plus utilisable. La tellinière est inefficace sur des substrats grossiers (au-delà du caillou) ou bien argileux compacts.

Attention ! L'usage de la tellinière et le piétinement du lit ne sont pas anodins et doivent être utilisés avec parcimonie. Ils ont un impact sur le milieu, et potentiellement sur les bivalves.



Figure 11 : Aperçu d'une tellinière et de son utilisation en cours d'eau (crédit photo : Vincent Prié)



Figure 12 : Exemple d'utilisation de la tellinière dans un cours d'eau turbide et vaseux (crédit photo : Damien Froment).



Figure 13 : Exemple de prospections en PMT. Même à faible profondeur, cette technique est très efficace, confortable et permet d'éviter ou de limiter le piétinement du cours d'eau (crédit photo : Pierre Clévenot).

• Technique de recherche en Palmes – Masque – Tuba (PMT)

Pour des profondeurs de plus de 1 m, la visibilité est généralement insuffisante pour que l'aquascope puisse être efficace, mais aussi la profondeur est telle qu'elle ne permet pas à l'opérateur de collecter à la main les individus. On passe alors aux prospections en combinaison de plongée, palmes, masque et tuba (PMT) (figure 13). Cette méthode est également conseillée pour de faibles profondeurs (autour de 50 cm) si l'on souhaite éviter de perturber le lit du cours d'eau et éviter les troubles musculo-squelettiques liés à la position courbée.

Si l'opérateur est amené à plonger la tête en-dessous d'un mètre de profondeur (en apnée ou non), il tombe dans la définition du milieu hyperbare (Art. 4461-1 du décret de 2011) et ses prospections sont assimilées à de la plongée professionnelle (voir encart).



• Prospections en plongée hyperbare

Dans le milieu hyperbare (au-delà d'un mètre de profondeur), la plongée peut être réalisée en apnée ou à l'aide d'une bouteille d'air comprimé.

En travaillant en apnée (dont les immersions doivent être de moins de 90 secondes selon l'arrêté du 14 mai 2019 définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail pour les interventions en milieu hyperbare exécutées avec immersion dans le cadre de la **mention B** «techniques, sciences, pêche, aquaculture, médias et autres interventions»), l'opérateur doit refaire surface régulièrement et il est toujours assez aléatoire de replonger au même endroit, surtout dans une rivière avec du courant, et donc de bien couvrir l'ensemble de la zone d'étude en apnée.

Par ailleurs, l'apnée est une discipline accidentogène, si elle n'est pas maîtrisée par l'opérateur. De ce fait, au-delà de 1,5 à 3 m de profondeur, la plongée hyperbare est vivement conseillée pour optimiser les prospections (figures 14-15). Elle nécessite deux opérateurs pour des questions de sécurité.



Figure 14 : Plongeurs hyperbares s'apprêtant à rechercher des Mulettes (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 15 : Plongeur hyperbare en train de réaliser des comptages de mulettes par quadrat (crédit photo: Valérie Simon).

Quelques éléments régissant la plongée professionnelle et les aspects réglementaires

La plongée hyperbare (ou plongée bouteilles), tout comme les prospections en apnée, sont encadrées par la loi dans le contexte professionnel par le décret n°2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare a définitivement (NOR : ETST1023798D) et par l'arrêté du 14 mai 2019 définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail pour les interventions en milieu hyperbare exécutées avec immersion dans le cadre de la mention B « techniques, sciences, pêche, aquaculture, médias et autres interventions » (NOR : MTRT1901237A).

Pour toute intervention à plus de 1 m de profondeur, le personnel doit être titulaire du Certificat d'Aptitude à l'Hyperbarie (CAH). Le CAH comporte au moins une mention relative à l'activité pratiquée en hyperbarie, choisie parmi les suivantes :

- Mention A : activités de scaphandrier.
- Mention B : autres activités subaquatiques.
- Mention C : activités d'hyperbariste médical.
- Mention D : autres activités d'hyperbariste.

L'article R. 4461-29 du code du travail précise que « les mentions relatives aux activités professionnelles sont définies comme suit :

- 1° mention A : travaux subaquatiques effectués par des entreprises soumises à certification telle que définie à l'article R. 4461-43 ;
- 2° mention B : interventions subaquatiques :
 - activités physiques ou sportives ;
 - archéologie sous-marine et subaquatique ;
 - arts, spectacles et médias ;
 - cultures marines et aquaculture ;
 - défense ;
 - pêche et récoltes subaquatiques ;
 - secours et sécurité ;
 - techniques, sciences et autres interventions.

Les activités de prospections bivalves en rivière relèvent de la mention B / techniques, sciences et autres interventions dont la définition est la suivante : « toute intervention dont le but consiste à recueillir des informations, des données ou des échantillons à des fins de recherche ou d'enseignement, à mettre en place et à entretenir des dispositifs expérimentaux et l'instrumentation nécessaires à ces activités » (Article 2 de l'arrêté du 30 octobre 2012).

La Classe correspond à la profondeur à laquelle l'opérateur peut travailler :

- Classe 0B : plongée jusqu'à 12m,
- Classe 1B : plongée jusqu'à 30m,
- Classe 2B : plongée jusqu'à 50m.

La pratique de l'apnée relève a minima de la classe 0. Tout opérateur pratiquant la plongée en apnée ou en bouteilles pour rechercher les bivalves en rivière devra donc a minima être certifié Classe 0 B. Enfin, pour des raisons de sécurité, la loi impose un minimum de deux opérateurs pour les prospections en plongée.

• Technique du dragage

Le dragage est mis généralement en œuvre dans les cours d'eau profonds et turbides, lorsqu'il n'est pas possible de réaliser des plongées hyperbares pour des questions de sécurité. Il existe plusieurs types de dragages pouvant être utilisés pour la récolte de la Mulette épaisse. Il existe le dragage à la traîne et le dragage depuis un point fixe (utilisation d'une benne). Le matériel utilisé est de forme variable et d'efficacité variable. Le dragage peut être réalisé depuis un bateau, ce qui permet un dragage longitudinal ou transversal. Il peut également l'être depuis les berges du cours d'eau, mais dans ce cas, il ne permet qu'un dragage transversal.

L'efficacité de la technique dépend de l'effort d'observation, mais aussi du matériel utilisé. Les dragues utilisées en traîne ont généralement des mailles larges pour laisser le sédiment s'échapper, ce qui peut limiter la collecte des Mulettes épaisses (figures 16-17). Pour les bennes, les surfaces de récolte sont généralement petites et nécessitent un effort d'observation important.

On soulignera que dans les grands cours d'eau (plus de 20 m de large), les Mulettes épaisses ont tendance à être concentrées sur les berges (là où le courant est le moins fort) et absentes des zones de courant fort et où la mobilisation du sédiment est trop importante. Il est important de vérifier dans ce cas où les dragages ont été effectués.



Figure 16 : Remontée d'un trait de drague pour la recherche des Mulettes en grands cours d'eau (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 17 : Aperçu d'une drague adaptée à la capture de Mulettes (crédit photo : Xavier Cucherat).

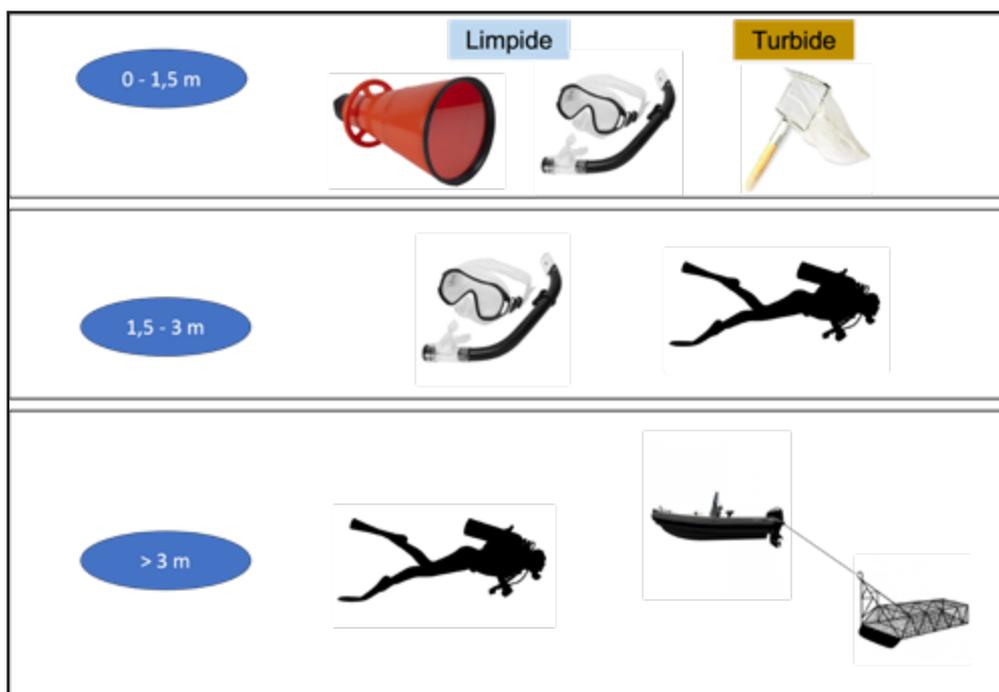


Figure 18 : Choix des techniques de recherche en fonction des conditions de prospection.

La figure 18 résume les choix possibles de techniques de recherche des Mulettes en fonction de la profondeur et des paramètres de turbidité du cours d'eau.

• Anticiper le calendrier

L'état initial vise à décrire la population de bivalves à un instant T, préalable aux travaux, sur l'ensemble de la zone potentiellement affectée par ces travaux. Il nécessite donc une visite de terrain, réalisée par des experts, pour estimer, en particulier, l'importance de la population. S'il n'existe aucune donnée sur la zone, l'analyse de l'ADNe peut être un préalable qui permet de définir si oui ou non l'espèce est présente sur le secteur.

L'état initial doit être envisagé et pensé le plus en amont possible. En effet, il faut :

- s'assurer de la disponibilité des experts : processus d'appel d'offre, choix du prestataire, dates d'intervention... ;
- anticiper la saisonnalité et les conditions de sécurité de l'état initial : réalisation des études à l'étiage des cours d'eau et de bonnes conditions météorologiques ;
- si des analyses d'ADNe sont envisagées, prévoir le temps de traitement des échantillons (actuellement trois mois).

• Préconisations de mise en oeuvre

Pour les prélèvements d'eau en vue d'analyse de l'ADNe, il est déconseillé de réaliser les échantillonnages en hiver. Les retours d'expérience semblent indiquer une moins bonne détection des bivalves pendant cette saison. Pour les expertises en cours d'eau, la période la plus favorable se situe entre avril et octobre. Néanmoins, la Mulette épaisse se reproduit entre avril et août en France. La manipulation des individus pendant cette période peut être source de stress et causer des avortements. Elle doit être limitée au strict nécessaire.

Pour des raisons pratiques, on comprendra que les prospections peuvent être adaptées aux contraintes extérieures (calendriers de travaux, conditions météorologiques exceptionnelles, urgences...). D'une manière générale, si l'on s'écarte des préconisations ci-dessus, il faut le justifier.

Fiche 7

Estimer la répartition et l'abondance

L'estimation de la répartition spatiale de la Mulette épaisse permet de définir l'étendue de la colonisation de l'espèce dans les aires d'étude du projet et d'apporter des éléments factuels nécessaires pour l'évaluation des impacts dans l'espace.

L'estimation de l'abondance de la Mulette épaisse dans les aires d'étude permet i) de quantifier le nombre d'individus soumis aux impacts, ii) dans la zone d'emprise, de déterminer le nombre d'individus à déplacer en cas de mise en œuvre de mesure de réduction (mesure de sauvetage).

Les méthodes qui seront décrites ci-après peuvent répondre simultanément au double objectif d'estimer l'extension spatiale et l'abondance des individus. Dans le cas contraire, ce sera précisé.

Dans le cas de l'estimation de l'abondance des individus, il est nécessaire de préciser que l'emploi du mot « population » est entendu au sens statistique du terme. Il s'agit de la population statistique comprise dans l'aire d'étude qui aura été définie, qui est une notion différente de la population biologique (qui échange ou est susceptible d'échanger des gènes). Ainsi, pour lever toute ambiguïté, nous désignerons par le terme population cible, la portion d'individus de Mulette épaisse comprise dans l'aire d'étude, par opposition à la population globale (du cours d'eau, du bassin hydrographique, etc.).

• Comptage par unités de temps

Au sein de l'aire d'étude, immédiate et/ou rapprochée, l'estimation de l'abondance des individus est mesurée, non pas en termes de surface prospectée, mais en termes de nombre d'individus relevés au cours d'une unité de temps (en heures ou en minutes). Les individus visibles repérés au bathyscope, en PMT ou en plongée, sont cumulés et le nombre total d'individus est rapporté sur le temps écoulé pour les recherches. Les temps effectués (en heures ou en minutes) pour chaque observateur, s'ils sont plusieurs, sont cumulés. Cela permet de comparer les captures par unité de temps.

Cette méthode ne tient pas compte des individus totalement enfouis dans le sédiment et est extrêmement dépendante de l'expérience des observateurs et de la visibilité. Elle ne permet pas de garantir une couverture complète de l'aire d'étude, puisque les observateurs peuvent s'affranchir de prospecter certaines parties plutôt que d'autres.

Enfin, il est nécessaire qu'il y ait au minimum une heure de prospection cumulée dans l'aire d'étude (sur 100 m de cours d'eau environ d'une largeur de 5 m) pour avoir des observations correctes (Tiemann *et al.* 2009). La méthode peut servir à l'estimation de l'extension spatiale à partir du moment où les observateurs relèvent la position géographique des spécimens observés dans le lit mineur, autrement elle ne le peut pas.

Cette méthode est particulièrement intéressante pour avoir une idée approximative de l'abondance et de la répartition à moindre coût, avec les imperfections susmentionnées, avant d'entreprendre des méthodes d'estimation probabiliste plus coûteuses.

• Méthodes probabilistes

Les méthodes probabilistes impliquent la mise en œuvre de plans d'échantillonnage ou de technique de sondage (Scherrer 1983 ; Thompson 2002 ; Strayer & Smith 2003), en fonction des objectifs fixés, qui, généralement, sont de décrire les paramètres de base de la population cible (au sens statistique). Ces méthodes de sondage sont décrites dans des ouvrages spécialisés en statistique (e.g. Thompson 2002), bien souvent en langue anglaise et sont très peu connues ou utilisées par les bureaux d'études. Elles impliquent de connaître les notions de statistique de base qui seront estimées.

Ainsi, il est nécessaire rappeler ce qu'est une moyenne, un écart-type et l'intervalle de confiance de l'estimation :

- ▶ **La Moyenne**, ici, est entendue au sens de la moyenne de l'échantillon, puisque la moyenne de la population n'est *a priori* pas connue. Il s'agit de la somme des valeurs observées dans les unités d'observations rapportée au nombre d'unité d'observation. Ici, il s'agira d'avoir un nombre d'individu au mètre carré (ind.m² ou ind/m²).
- ▶ **L'écart-type** est une mesure de la dispersion des observations par rapport à la moyenne de la population (il s'agit de la racine carrée de la variance).
- ▶ **L'intervalle de confiance** est une mesure de la précision de l'estimation (de la moyenne ou de l'écart-type) et donne les bornes dans lesquelles se trouve la vraie valeur du paramètre estimé de la population. Cette précision est liée à l'effort d'observation.

Ces variables rapportées à l'ensemble de la surface de l'aire d'étude considérée permettent de donner :

1. une estimation du nombre d'individus et la précision de cette estimation (qui est lié à l'effort d'observation) ;
2. des valeurs de référence pour évaluer les variations de densité dans le temps dans le cadre d'un suivi ;
3. des valeurs factuelles pour estimer de la probabilité de détection de l'espèce dans une aire d'étude.

Les points 1) et 2) précédents permettront aux services instructeurs de mesurer la qualité de l'estimation de l'abondance de l'espèce dans les aires d'étude, et d'apprécier les évaluations des impacts au regard des enjeux rencontrés et les mesures ERC correspondantes.

• Exemple fictif

En termes de résultat, l'estimation de l'abondance devrait être présentée ainsi (exemple fictif) :

2 658 individus ± 793 (IC à 95 % : 1 980 ; 4 500)

- ▶ le premier terme 2 658 correspond à l'estimation du nombre d'individus ;
- ▶ le terme 793 correspond à l'écart-type ;
- ▶ les termes 1 980 et 4 500 correspondent aux bornes inférieures et supérieures, respectivement, de l'intervalle de confiance de l'estimation du nombre d'individus à 95 %.

Sur cet exemple fictif, on constate que l'estimation est peu précise parce que les bornes sont très éloignées de l'estimation du nombre d'individus.

Nous exposons ici les grands principes des méthodes de sondage/échantillonnage, en précisant à quels types d'objectifs ils répondent. Les méthodes d'échantillonnage les plus fréquentes sont :

- **l'échantillonnage aléatoire simple** : les unités d'observation (cf. ci-après) sont disposées aléatoirement dans l'aire d'étude ▶ pour l'estimation de l'abondance de l'aire d'étude ;
- **l'échantillonnage systématique** : les unités d'observation sont disposées régulièrement dans l'aire d'étude, pour couvrir toute la surface de l'aire d'étude ▶ pour l'estimation de l'abondance, de l'extension spatiale dans l'aire d'étude ;
- **l'échantillonnage stratifié** : l'aire d'étude est découpée en différentes strates (au sens statistique) qui sont connues *a priori* (par exemple, la nature du substrat ou des faciès), et à l'intérieur de chacune des strates, un autre type d'échantillonnage y est mis en œuvre (aléatoire simple ou systématique) ▶ pour l'estimation de l'abondance, de l'extension spatiale dans l'aire d'étude (surtout en grand cours d'eau).

- **Le double échantillonnage** à stratification ultérieure (ou échantillonnage en deux phases) : Dans un premier temps, l'aire d'étude est découpée en différentes stations (section de cours d'eau de longueur ou de surface égale par exemple), un tirage aléatoire d'un certain nombre de stations où une technique rapide et peu coûteuse d'observation y est mise en œuvre (comptage par unité de temps en aquascope par exemple). Puis, dans un second temps, chaque station prospectée est classée (stratifiée) selon un ou plusieurs critères (présence et/ou abondance de l'espèce cible, présence de bivalves mais non l'espèce cible, etc.). Ensuite, un second tirage aléatoire de stations classées dans les différents catégories précédentes est réalisé. Les stations sélectionnées bénéficient de la mise en œuvre de méthodes de sondage plus précises et plus coûteuses ▶ pour l'estimation de l'abondance, de l'extension spatiale dans l'aire d'étude (surtout sur de longs linéaires de cours d'eau, voire à l'échelle d'un bassin hydrographique), mais aussi pour déterminer la proportion d'individus enfouis par rapport à ceux visibles en surface.

On soulignera que ces méthodes d'échantillonnage peuvent faire appel à différentes techniques ou unités d'observations (par quadrat ou par transect) qui permettent de mesurer l'effort d'observation.

Quelle que soit la méthode, la réalisation d'un pré-échantillonnage permet de déterminer l'effort final à consentir pour obtenir des estimations précises. En cas de découverte d'individus vivants, il est possible, lors de l'inventaire initial, de mettre en œuvre un pré-échantillonnage. Pour cela, on recommande de disposer entre 30-40 unités d'observation systématiquement réparties sur l'ensemble de l'aire d'étude. Les éléments acquis (moyenne, variance) alimenteront les formules données dans les manuels d'échantillonnage... Les formules données dans les manuels d'échantillonnage (e.g. Thompson 2002) permettent de déterminer l'effort d'observation à consentir, en fonction de la précision désirée.

• Techniques ou unités d'observations associées aux méthodes probabilistes

Les techniques associées aux méthodes probabilistes permettent d'avoir un effort d'observation mesurable et constant sur toute l'aire d'étude.



Quadrats

L'utilisation du quadrat peut être mise en œuvre dans l'échantillonnage aléatoire simple, systématique, stratifié ou lors de la seconde phase de l'échantillonnage en deux phases. La surface d'observation optimale est de 50 x 50 cm pour les espèces de la taille de la Mulette épaisse (Pooler & Smith 2005) (figure 19). Tous les individus visibles en surface sont alors comptés.

Figure 19 : Comptage de Mulettes dans un quadrat de 50 x 50 cm pour une estimation d'abondance (crédit photo : Pierre Clévenot)

L'usage de l'excavation est possible, pour déterminer la proportion d'individus enfouis et/ou non visibles depuis la surface du sédiment. L'excavation doit se faire jusqu'à 10 cm, au-delà c'est techniquement difficile. La mise en œuvre de l'excavation implique l'usage d'un dispositif permettant de récupérer le substrat excavé sur une surface fixe (ex. un quadrat de type Surber) (figure 20). En pratique, les individus visibles sont préalablement collectés et mis de côté. À l'issue de cette opération, lorsque plus aucun individu n'est repéré visuellement, la totalité du quadrat est excavée. Le sédiment excavé est ensuite tamisé sur un tamis de vide de maille de 5 mm, puis triés sur place pour collecter les spécimens dans le tamis (figure 21).



Figure 20 : Pratique de l'excavation dans le cadre d'une estimation d'abondance de Mulettes (crédit photo : Pierre Clévenot).



Figure 21 : Tamisage de sédiments excavés dans le but de détecter des spécimens enfouis ou non visibles (crédit photo : Pierre Clévenot).

L'usage des comptages par quadrat avec excavation est recommandé dans la zone d'emprise et en particulier dans les cours d'eau parcourable à pieds. En revanche, elle est peu pratique dans les grands cours d'eau ayant une profondeur supérieure à 1,50 m et avec un courant important. Par conséquent, l'usage de l'excavation est à proportionner en fonction du gabarit du cours d'eau (largeur et profondeur).

Transects

Le transect consiste à compter les individus le long d'une ligne qui va de berge à berge (tout en étant perpendiculaire à la tangente des deux berges). Par exemple, le transect peut être de 50 cm de large. Tous les individus visibles observés dans cette bande sont comptés. Cette technique est une méthode de comptage rapide (plus rapide que les quadrats) et peut être mise en œuvre en aléatoire simple, systématique ou dans la seconde phase du double échantillonnage. Cependant, elle induit une grande variance dans les comptages et elle n'est pas adaptée à la mise en œuvre d'excavation pour estimer la proportion d'individus enfouis et/ou non visibles depuis la surface du sédiment. Les estimations finales sont généralement moins précises qu'avec le quadrat. L'usage des transects est recommandé dans les aires d'impacts indirects ou dans les cours d'eau larges et profonds.

• Méthodes de capture - marquage - recapture

Il existe des approches non probabilistes de l'estimation de l'abondance des individus dans une aire d'étude. Ainsi, dans l'aire d'étude considérée, l'approche consiste à capturer les individus visibles depuis la surface du sédiment en les recherchant à vue sans mettre en œuvre une méthode d'échantillonnage particulière, les marquer et les relâcher.

Au bout d'un certain temps (généralement une saison, soit entre deux périodes de crue), l'opération est reconduite à l'identique (parfois plusieurs fois) dans la même zone d'étude et la proportion d'individus marqués observés est notée et les nouveaux individus non marqués, sont capturés et marqués, etc.

La mise en œuvre de ces méthodes implique le respect d'un certain nombre de critères qui influenceront les estimations. Elles ne seront pas développées ici. Ces méthodes d'estimation sont surtout mises en œuvre dans le cadre de suivis temporels. Elles sont difficiles à mettre en œuvre dans des grandes aires d'étude et parfois moins efficaces que les comptages probabilistes dans le cadre d'étude d'impact (Villella et al. 2004 ; Meador et al. 2011 ; Wisniewski et al. 2013).

• Conclusion sur les méthodes d'estimation de l'abondance et de l'extension spatiale des individus

Les techniques d'observation et méthodes présentées ci-dessus sont à adapter aux objectifs (couverture spatiale, extension des impacts, précision de l'estimation, etc.) et aux particularités de chaque aire d'étude.

Le prestataire devra justifier le choix des méthodes et des techniques mises en œuvre en fonction des conditions environnementales, de la dimension de la zone d'étude, des questions posées et des moyens alloués pour y répondre. Une approche minimaliste en termes de méthodes et de techniques ne permettra pas au prestataire de répondre à l'ensemble des champs nécessaires pour la conduite de l'évaluation environnementale de son projet sur la Mulette épaisse.

Points de vigilance

Il n'est pas possible d'identifier la Mulette épaisse sans la manipuler (les parties visibles d'un animal vivant, tels que les siphons, sont similaires entre les différentes espèces). Toute manipulation de spécimen ou de coquille de Mulette épaisse est soumise à demande de dérogation, y compris dans le cadre d'inventaires. En effet, d'après l'arrêté ministériel du 27 avril 2007 fixant la liste des mollusques protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection, un spécimen est défini comme « tout œuf ou tout mollusque vivant ou mort, ainsi que toute partie ou tout produit obtenu à partir d'un œuf ou d'un animal ». « Sont interdits, sur tout le territoire métropolitain et en tout temps, la destruction ou l'enlèvement des œufs, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel. »

Si la manipulation est suivie d'un relâcher immédiat, alors la demande de dérogation est instruite et délivrée selon les modalités de l'arrêté du 18 décembre 2014 fixant les conditions et limites dans lesquelles des dérogations à l'interdiction de capture de spécimens d'espèces animales protégées peuvent être accordées par les préfets pour certaines opérations pour lesquelles la capture est suivie d'un relâcher immédiat sur place.

La demande est à adresser au service en charge des demandes de dérogation espèces protégées du département (selon les départements, la DREAL ou DRIEAT ou la DDT(M)).

La qualification de la viabilité des populations de la Mulette épaisse revient à chercher si ces populations sont fonctionnelles ou pas, autrement dit si elles se reproduisent et si cette reproduction est efficace : les juvéniles se maintiennent et se reproduisent, arrivés à maturité. Il existe peu d'éléments publiés sur la caractérisation de la viabilité des populations de la Mulette épaisse et des efforts de recherche sont à mener pour affiner la caractérisation de la fonctionnalité des populations.

Les éléments proposés pour caractériser cette viabilité sont tirés de Stöckl *et al.* (2015), sur la base d'une étude menée sur des cours d'eau du bassin du Danube. Dans ce bassin hydrographique, les populations jugées fonctionnelles de Mulette épaisse avaient des proportions de juvéniles (individus de moins de six ans) comprises entre 31 % et 71 % des individus. Les cours d'eau de ce bassin ayant de fortes proportions de juvéniles avaient des densités de poissons hôtes primaires plus élevées (en moyenne 40 ind/100 m²) que ceux n'en ayant pas (en moyenne 8 ind/100 m²)

Dans le cas de l'étude de Stöckl *et al.* (2015), les poissons hôtes primaires (c'est-à-dire les plus efficaces pour la reproduction de la Mulette épaisse) sont : le Vairon, le Chevaine et l'Épinoche. En région Grand Est, Lamand *et al.* (2016) indiquent que les poissons-hôtes les plus infestés par la Mulette épaisse en période de reproduction sont le Vairon et le Chabot. Le Chevaine est infesté en faible proportion.

Ainsi, en l'état actuel des connaissances, l'estimation de la viabilité des populations de la Mulette épaisse dans les aires d'études doit apporter deux éléments clefs :

- la proportion de juvéniles de moins de 6 ans (voir annexe 1 partie croissance) pour la relation âge/taille) ;
- la densité de poissons-hôtes primaires par unité de surface dans l'aire d'étude.



Figure 22 : Juvéniles de Mulettes (épaisses et méridionales) détectées à l'issue d'excavations (crédit photo : Vincent Prié).

La proportion de juvéniles peut être estimée par la réalisation d'excavations, avec tamisage des sédiments, avec une mesure systématique de la plus grande longueur des individus récoltés (figure 22). Cette information peut être retirée à partir des études d'estimation d'abondance de la Mulette épaisse dans les aires d'études.

Les densités de poissons-hôtes primaires peuvent être estimées à partir de pêches électriques menées lors des états initiaux et rapportées à des unités de surfaces.

Fiche 9

Caractérisation des impacts

Les états initiaux doivent permettre une bonne appréciation des enjeux et des impacts potentiellement présents.

• Impacts directs sur les individus et leur habitat

Phase adulte

La Mulette épaisse adulte est une espèce dont les capacités de fuite face à une situation qui la met en péril restent très limitées. Elle ne fuit pas devant le danger, comme pourrait le faire les VERTÉBRÉS. À tout le moins, elle referme ses valves et reste immobile un certain temps, puis se déplace. Cependant, la mobilité de l'espèce dans ce cas ne lui permet pas de sortir de la zone d'impact. Ainsi, toute intervention en cours d'eau avec des engins mécaniques risquent de tuer des individus par écrasement ou broyage.

Elle est strictement aquatique et ne supporte pas la dessiccation. En cas d'abaissement du niveau de l'eau et de l'exondation du sédiment où elle est enfoncée, elle cherche à rejoindre le milieu aquatique (figure 23). Les individus totalement enfouis rejoignent la surface et cherchent également à rejoindre le milieu aquatique. Toutefois, ses mouvements sont erratiques et l'individu stresse, se fatigue, perd son eau et il est plus facilement exposé aux prédateurs. La durée de vie à l'air libre est limitée et dépend de la viscosité du substrat exondé, de l'ombrage et de l'humidité du substrat, de la température de l'air et de la teneur en humidité atmosphérique. D'une manière générale, la Mulette épaisse étant une espèce protégée, aucune expérience de résistance à la dessiccation n'a été menée et permettant de dire combien de temps ni dans quelles circonstances elle est en mesure de résister à la dessiccation. Toute période de dessiccation envisagée lors d'un projet doit être considérée comme une perturbation intentionnelle, causant un stress pour les individus.



Figure 23 : Individus de Mulette épaisse se déplaçant suite à un abaissement de la lame d'eau d'un cours d'eau (crédit photo : Xavier Cucherat)

En période de reproduction, en cas de stress (quelle que soit sa nature), les femelles relâchent prématurément leurs larves et plus particulièrement lorsque la température de l'eau est anormalement élevée. Ces larves ne s'accrochent pas aux poissons et ne sont pas viables. Vivant enfouie totalement ou partiellement dans le sédiment, la Mulette épaisse est sensible aux vibrations. Les vibrations mécaniques (tel que le vibrofonçage) délogent les individus (Prié & Cucherat, observations personnelles). La portée de telles vibrations peut porter à une dizaine de mètres. Ces derniers sont emportés par le courant et peuvent se retrouver dans des conditions de substrat/courant qui ne leur conviennent pas.

La Mulette épaisse est un organisme filtreur, il tire son énergie de la colonne d'eau. La pollution du milieu aquatique peut causer la mortalité instantanée ou différée des individus, qui est fonction de la nature des polluants et de leur concentration.

Phase juvénile (voir annexe 1)

■ Phase larvaire et phase parasitaire

La reproduction se déroule entre avril et août. En effet, des branchies chargées de glochidies ont été observées dans le bassin hydrographique de la Seine au cours du mois de juillet (Cucherat, observations personnelles) et des comportements de « splurting » [projection d'eau chargée de glochidies par les femelles sur les poissons] ont été observés au cours du mois d'août en Lorraine (Rabemananjara, communications personnelles).

L'intensité de la reproduction dépend de la température de l'eau. Le stade parasitaire sur les poissons hôtes est très variable et dépend également de la température de l'eau. La vitalité des glochidies dans le poisson-hôte est liée à la température de l'eau, l'optimal étant autour de 17°C (Taeubert *et al.* 2014, Benedict & Geist 2021). Toute variation brutale de la température de l'eau peut donc avoir un impact sur les stades juvéniles. La température optimale pour la croissance des larves et des juvéniles est de 15 – 20 °C. Toute opération favorisant l'augmentation de la température de l'eau au printemps et en été (ex. suppression de la ripisylve, relargage d'eau plus chaude à partir d'un étang) a donc un impact sur la viabilité de la population.

À l'inverse, les effets des relâchers d'eau plus froide dans le milieu sur les larves ne sont pas connus.

■ Phase post-parasitaire

À l'issue de sa phase parasitaire, la jeune moule se décroche des branchies ou des nageoires du poisson hôte et tombe sur le substrat (elle fait alors environ 2 mm). Le déplacement des poissons-hôtes infestés suite au dérangement lié aux travaux peut conduire à un relargage des jeunes mulettes dans des zones défavorables.

La jeune moule grandit enfouie dans le substrat, pendant 2 à 3 ans. Elle a alors besoin d'une couche de substrat meuble avec circulation d'eau (dite zone hyporhéique). La disparition et/ou l'altération de cette couche soit par érosion, incision du lit, soit au contraire par colmatage, a un impact direct sur la survie des juvéniles et donc le recrutement de la population.

Les impacts peuvent également toucher les poissons hôtes :

- Ils peuvent provoquer la mort (par mort directe, par asphyxie, etc.) des poissons pendant la période d'accrochage des larves. Les glochidies ne peuvent ni s'accrocher et/ou se décrocher convenablement : la phase parasitaire est de ce fait altérée. On soulignera que la poursuite du cycle parasitaire de la Mulette épaisse sur des poissons hôtes morts n'est pas documentée ;
- ils peuvent affecter les poissons hôtes avant la phase d'accrochage, ce qui limite les chances d'infestation. Les larves meurent alors en pleine eau.

Impacts indirects

■ Impacts sur le milieu

Les impacts indirects sur le milieu de la Mulette épaisse sont peu documentés. Les exemples cités proviennent de références propres à cette espèce, ou tirés d'études menées sur d'autres espèces qui peuvent être transposées à la Mulette épaisse. La liste n'est donc pas exhaustive.

- La modification du transit sédimentaire, notamment par l'absence ou la diminution d'apport de matériaux meubles permettant l'installation et le maintien de la Mulette, est perçue comme un impact indirect de certains ouvrages ;
- la suppression de la ripisylve, que ce soit à des fins de travaux ou par la dégradation par des animaux d'élevage, aura pour conséquence une modification de la température de la rivière. L'optimum thermique de la Mulette épaisse pour le développement des glochidies et leur survie, y compris pendant l'enkystement, est de 17°C. Une température plus élevée induit un raccourcissement de la viabilité des larves. Par ailleurs, la ripisylve permet de tamponner les fortes variations de températures de l'eau pour les adultes en situation météorologique extrême ;
- les relâchers d'eau froide en période estivale (c'est-à-dire qui ne miment pas le fonctionnement naturel du régime hydraulique), souvent provenant de vanne de fond d'ouvrages hydroélectriques, induisent une castration des individus adultes situés à l'aval, de mauvaises conditions physiologiques et les rendent plus sensibles aux parasites (Galbraith et Vaughn 2011) ;
- Stoeckl & Geist (2016) exposent des valeurs seuils pour la vitesse du courant, la pénétrabilité du substrat et les forces de cisaillement. Ainsi, les modifications du régime hydraulique qui, sur le moyen ou long terme, altéreraient ces valeurs peuvent avoir des effets délétères sur l'installation et la persistance des individus.

■ Impacts sur les poissons-hôtes

La disponibilité et l'abondance des poissons hôtes ont un rôle important sur la viabilité des populations de la Mulette épaisse et notamment sur sa capacité à recruter. L'altération des milieux peut amener à la disparition et/ou à la raréfaction des poissons hôtes, et provoquer ainsi la disparition de la Mulette épaisse.



Impacts des espèces exotiques envahissantes

■ Par modification du milieu

L'arrivée d'Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) peut induire des modifications de milieu non compatibles avec la persistance de la Mulette épaisse. Par exemple, l'installation de la Jussie peut provoquer des modifications du régime hydraulique, notamment par le ralentissement du courant (augmentation du colmatage sous les herbiers par exemple) et modifier les conditions du milieu favorable à la Mulette épaisse. Ce type d'évolution a été documenté et a été observé dans des cours d'eau de grandes dimensions tels que la Loire ou la Creuse (Philippe *et al.*, in prep).

La restauration de la continuité écologique est une action bénéfique pour la dispersion et la circulation des poissons hôtes. Cependant, elle peut faciliter le déplacement vers l'amont d'espèces soupçonnées d'être concurrentes aux moules (cas de la remontée de la Corbicule bloquée à l'aval d'ouvrages hydrauliques). Ainsi, toutes réflexions sur la restauration de la continuité écologique d'un cours d'eau doit tenir compte de la présence de telles espèces potentiellement concurrentes.

■ Par la prédation

D'une manière générale, en Europe occidentale, les moules, dont la Mulette épaisse, ont peu de prédateurs autochtones. Des cas de prédation de Loutre sur des moules (Mulette perlière notamment) ont été documentés. En revanche, deux espèces, le Rat musqué ou le Ragondin, originaires des Amériques et naturellement prédatrices de moules dans leurs patries d'origine, ont des effets délétères sur les populations de moules européennes (figure 24). La prédation exercée par ces espèces peut induire une baisse des effectifs de plus de 90 % dans les cours d'eau prédatés (Stoeckl *et al.* 2020). Le déplacement d'individus de Mulette épaisse dans le cadre de mesure de réduction peut voir son succès réduit ou annulé par la prédation sur les individus déplacés (Cucherat, observations personnelles). Une vigilance particulière doit donc être apportée dans la sélection des sites de réception, éventuellement complétée par une destruction des prédateurs présents (cf. fiche relative à la mesure de déplacement).



Figure 24 : Coquilles vides de Mulettes épaisses laissées par le Rat musqué (Crédit photo : Xavier Cucherat).

Fiche 10

Les impacts résiduels

• Cas général

Lorsque les aires d'étude ont été définies (aire d'emprise du projet et aire d'impacts indirects), la réalisation de l'état initial (répartition et abondance des individus) doit permettre au pétitionnaire d'apprécier les impacts sur les différents compartiments du cycle biologique de la Mulette épaisse. Ces compartiments sont :

- le stade adulte ;
- le stade glochidial (en eau libre ou lorsque la larve est fixée sur le poisson-hôte) ;
- le stade juvénile.

Les impacts résiduels sont ceux qui, quel que soit le compartiment du cycle biologique considéré, vont contribuer à détériorer l'état actuel de conservation de la population cible, après la mise en place des mesures de réduction. La fiche n° 9 détaille un certain nombre de ces impacts qui pourraient persister après ces mesures.

L'ensemble des mesures envisagées par le pétitionnaire ont pour but d'obtenir un projet sans impacts résiduels. Les objectifs sont donc, autant que faire se peut, d'éviter et/ou de réduire les effets altérants ou dégradants du projet sur au moins l'un des trois compartiments de l'espèce. Si, à l'issue des mesures d'évitement et de réduction, il existe des impacts résiduels sur au moins un des trois compartiments cités ci-dessus, alors il y a enclenchement de mesures compensatoires proportionnées.

Sur la base de faits, obtenus à partir de l'état initial et du recoupement des éléments de connaissance actuellement acquis sur la Mulette épaisse, c'est au pétitionnaire d'analyser la nature et l'ampleur des impacts résiduels sur l'espèce. Il proposera *de facto* des mesures compensatoires et de suivi (cf. fiches « suivi »).

• Cas spécifique de la pêche de sauvegarde

L'estimation rigoureuse et précise du nombre d'individus de la population cible soumis aux impacts directs ou impacts indirects forts permettra au pétitionnaire d'avoir une vision précise de l'effort à consentir pour déplacer ces individus.

L'expérience acquise depuis les premières mises en œuvre des pêches de sauvetage montre qu'il n'est pas possible de capturer l'intégralité des spécimens vivants dans l'aire considérée. En effet, la fraction correspondant aux juvéniles n'est peu ou pas capturée. Elle ne peut l'être qu'à la condition de tamiser l'intégralité du sédiment du cours d'eau, ce qui est impossible techniquement à l'heure actuelle.

Dans le cadre de la détection de l'espèce, il est accepté que la précision de cette dernière soit de 15 % (Smith 2006). Cela signifie que l'on accepte que 15 % des individus présents puissent ne pas être détectés. Par transposition à la population cible estimée, il peut être toléré que 15 % de l'estimation initiale ne soit pas capturée lors de la pêche de sauvetage. Le porteur de projet devra prévoir un effort suffisant pour atteindre ce seuil minimal de 85 % de l'abondance estimée de la population cible. Si ce seuil de 85 % n'est pas atteint, la mesure ne sera pas considérée comme réussie. Par conséquent, le porteur de projet devra mettre en œuvre des mesures compensatoires proportionnées au résultat du nombre d'individus déplacés. Il est donc particulièrement important que l'estimation de l'abondance de la population cible soit réalisée de manière rigoureuse et précise, en utilisant une approche méthodologique adaptée et justifiée par rapport au contexte de l'aire d'étude.



Les questions environnementales doivent faire partie des données de conception des projets au même titre que les autres éléments techniques, financiers, fonciers, etc. Cette conception doit tout d'abord s'attacher à **éviter les impacts sur l'environnement**, y compris au niveau des choix fondamentaux liés au projet (nature du projet, localisation, voire opportunité). Cette phase est essentielle et préalable à toutes les autres actions consistant à minimiser les impacts environnementaux des projets, c'est-à-dire à réduire au maximum ces impacts et en dernier lieu, si besoin, à compenser les impacts résiduels après évitement et réduction. C'est en ce sens et compte-tenu de cet ordre que l'on parle de « **séquence éviter, réduire, compenser** ».

La séquence « éviter, réduire, compenser » les impacts sur l'environnement concerne l'ensemble des thématiques de l'environnement, et notamment les milieux naturels. Elle s'applique, de manière proportionnée aux enjeux, à tous types de plans, programmes et projets (qui seront dénommés « projets » dans la suite du texte) dans le cadre des procédures administratives de leur autorisation (étude d'impacts ou étude d'incidences thématiques i.e. loi sur l'eau, Natura 2000, espèces protégées, ...).

Dans la conception et la mise en œuvre de leurs projets, les maîtres d'ouvrage doivent définir les mesures adaptées pour éviter, réduire et, lorsque c'est nécessaire et possible compenser leurs impacts négatifs significatifs¹ sur l'environnement. Cette démarche doit conduire à prendre en compte l'environnement le plus en amont possible lors de la conception des projets d'autant plus que l'absence de faisabilité de la compensation peut, dans certains cas, mettre en cause le projet.

La conservation de la Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788), ainsi que des autres espèces de bivalves d'eau douce, représente un enjeu considérable pour la biodiversité des régions Grand Est et Ile-de-France. Il apparaît donc essentiel de définir des mesures « ERC » adaptées à la prise en compte de ces espèces dès la conception des aménagements et des projets d'intervention en milieux aquatiques.

Les fiches « ERC » suivantes proposent aux maîtres d'ouvrages des exemples de mesures adaptées aux enjeux malacologiques. Elles permettent une meilleure insertion environnementale des projets d'intervention en milieux aquatiques et s'inscrivent dans une démarche de développement durable.

Certaines des fiches « ERC » répondent parfois à plusieurs phases de la séquence « ERC », en fonction de la nature des opérations envisagées. Il revient au maître d'ouvrage de mobiliser ces fiches en fonction de la nature des impacts envisagés, et ce, en respectant les éléments de la doctrine nationale relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel².

¹ Le caractère « significatif » ou « notable » d'un impact fait l'objet d'une définition propre à chaque réglementation. Le terme significatif est celui employé pour cette doctrine. On parle aussi parfois d'impacts acceptables par le milieu, en tant qu'impacts suffisamment faibles pour ne pas devoir nécessairement être compensés.

² MEDDTL, 2012. Doctrine relative à la séquence « Eviter, Réduire, et Compenser » les impacts sur le milieu naturel, MEDDTL, 9 p.



Plusieurs guides nationaux¹ précisent les définitions des mesures « ERC » et proposent une classification nationale à destination des services instructeurs, maîtres d'ouvrages et autres acteurs de la séquence ERC, dans le but d'optimiser la mise en œuvre de cette séquence. Cette classification, ainsi que les fiches « ERC » suivantes, se veulent être un outil d'aide à la conception de mesures adaptées à des impacts identifiés que va notamment pouvoir mobiliser le maître d'ouvrage dans la conception de son projet ou de son plan-programme.

Il s'agit donc de transcrire dans les pratiques des maîtres d'ouvrages, de leurs prestataires, des services de l'État et des collectivités territoriales, les obligations découlant des textes législatifs et réglementaires², en précisant de manière pragmatique les principes qui les guident, dans le souci d'améliorer la qualité des projets tout au long de leur processus d'élaboration et de leur vie et d'assurer une homogénéité de traitement sur le territoire.

La doctrine, et les fiches « ERC » suivantes, s'attachent à illustrer l'esprit des textes, mais ne constituent pas leur interprétation exhaustive.

Ainsi, la mise en œuvre vertueuse de la « séquence éviter, réduire, compenser », et plus spécifiquement des fiches de ce guide, contribue à répondre aux engagements communautaires et internationaux de la France en matière de préservation des milieux naturels et de conservation des espèces.

La mise en œuvre de la séquence doit permettre de conserver globalement la qualité environnementale des milieux et des espèces, et si possible d'obtenir un gain net, en particulier pour les milieux dégradés, compte-tenu de leur sensibilité et des objectifs généraux d'atteinte du bon état des eaux, et de conservation des habitats et des espèces.

1 MTES, 2018. Évaluation environnementale, Guide d'aide à la définition des mesures ERC. MTES, Commissariat général au développement durable, CEREMA, janvier 2018, 134 p.

2 Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages (NOR : DEVL1400720L).

Abandon du projet

Fiche 11.1

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Adulte
Larve
Poissons hôtes

Objectif de la mesure

- Éviter la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ;
- maintenir l'espèce.

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Avant les impacts du projet

Catégorie de la mesure

Conserver en l'état

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La mesure consiste à abandonner le projet, si (non exclusif) :

- les impacts analysés sur les Mulettes ne sont pas réductibles ;
- les impacts résiduels analysés sur les Mulettes ne sont pas compensables ;
- les impacts analysés remettent en cause l'état de conservation de la population cible ;
- le bien-fondé du projet n'est pas justifié.

Point à étudier

La présence de l'espèce est à étudier dans la zone de projet.

Détail de la mise en œuvre

La mesure est à mettre en œuvre sur la base d'une analyse préalable des impacts sur les Mulettes au regard des moyens à mettre en œuvre pour éviter/réduire et/ou compenser ces impacts, mais aussi au regard du bien-fondé du projet. La mesure implique un prestataire maîtrisant la problématique Mulettes dans les projets d'aménagement.

Localisation

La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'étude.

Ampleur de la mesure

La mesure est à déployer pour l'ensemble du projet ayant des impacts sur les Mulettes.

Pertinence de la mesure

Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des risques d'altération importants sur la fonctionnalité pour la population cible de Mulettes, qui remettraient en cause leur existence dans le cours d'eau ou la zone d'étude considérée.

Néanmoins, elle doit être appréciée au regard des effets à long terme du projet. En particulier, il est important d'évaluer le gain du projet en termes :

- de disponibilité future de milieux pour les Mulettes ;
- de probabilité de développement et de renforcement naturel de la population cible.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mesure est conditionnée sur la réalisation d'une expertise sur l'occurrence de l'espèce dans l'aire du projet. Elle implique que le prestataire accompagnant le pétitionnaire ait des compétences aguerries et reconnues sur l'étude des Mulettes et sur leur écologie.

Modalité de suivi envisageable

S'assurer que le projet est véritablement abandonné.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tous les projets.

Redéfinition du projet

Fiche 11.2

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Adulte Larve Poissons hôtes
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Éviter et/ou réduire la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ; maintenir l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Court terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Avant les impacts du projet
Catégorie de la mesure	Conserver en l'état
Famille de la mesure	Technique et géographique
Descriptif	
Caractéristiques de la mesure	La mesure consiste à redéfinir le projet, si les impacts analysés sur les Mulettes ne sont pas réductibles et que le bien-fondé du projet est justifié.
Point à étudier	La présence de l'espèce est à étudier dans la zone de projet.
Détail de la mise en œuvre	La mesure est à mettre en œuvre sur la base d'une analyse préalable des impacts sur les Mulettes au regard des moyens à mettre en œuvre pour éviter/réduire et/ou compenser ces impacts, mais aussi au regard du bien-fondé du projet. La mesure implique un prestataire maîtrisant la problématique Mulettes dans les projets d'aménagement.
Localisation	La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'étude.
Ampleur de la mesure	La mesure est à déployer sur tout ou partie du projet (en fonction des impacts sur les mulettes).
Pertinence de la mesure	
<p>Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des risques d'altération importants pour la population de Mulette concernée, qui remettrait en cause son existence dans le cours d'eau ou la zone d'étude considérée.</p> <p>La mesure suivante peut être associée :</p> <ul style="list-style-type: none"> Organisation du chantier dans le temps et dans l'espace. 	
Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance	
La mesure est conditionnée sur la réalisation d'un diagnostic sur l'occurrence de l'espèce dans l'aire du projet. Elle implique que le prestataire accompagnant le pétitionnaire ait des compétences aguerries et reconnues sur l'étude des Mulettes et sur leur écologie.	
Modalité de suivi envisageable	
S'assurer que le projet ait véritablement été redéfini.	
Autres	
La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau. La mesure concerne tous les projets.	

Mettre en défens les berges (1/2)

Fiche 11.3

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Ensemble du cycle de vie

Objectif de la mesure

- Réduire et/ou supprimer le piétinement du bétail au sein du lit mineur du cours d'eau ;
- réduire la mortalité des individus ;
- limiter le colmatage des fonds ;
- préserver la ripisylve ;
- favoriser la colonisation de l'espèce.

Durée de la mise en œuvre

Long terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase d'exploitation/développement

Catégorie de la mesure

Améliorer la qualité de l'habitat

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La mesure consiste à soustraire les berges du cours d'eau de toutes sources de dégradation d'origine anthropique liées à l'élevage. Il s'agit alors (soit l'un, soit l'autre) :

- d'installer une clôture permanente (fil barbelé + piquets de clôture adaptés) ;
- d'installer une clôture électrique temporaire (le temps de la période de pâturage),

le long des berges du cours d'eau pour maintenir les animaux d'élevage éloignés du lit mineur de la rivière.

Dans les cas, les deux berges doivent être aménagées sur toute la longueur considérée.

Point à étudier

Au préalable, il est nécessaire de diagnostiquer les linéaires du cours d'eau pressentis pour déployer la mesure. Cette étude permettra d'identifier les linéaires à aménager, et de choisir le type de mesure le plus approprié à la situation.

Il est important :

- de négocier avec les exploitants agricoles des parcelles agricoles (qu'elles soient en pâture ou non) pour mettre en œuvre cette mesure ;
- d'étudier la possibilité d'un soutien logistique, financier (achat de matériel, installation) par le truchement de convention avec les exploitants agricoles concernés pour pérenniser la mesure.

Localisation

La mesure peut être déployée à l'amont et/ou à l'aval immédiat ou le long du projet.

Ampleur de la mesure

La mesure est à proportionner à la nature et à l'impact du projet. Chaque mètre de mise en défens sera positif pour le cours d'eau concerné. Cependant, pour qu'il y ait un effet significatif sur le cours, nous recommandons que la longueur concernée par la mesure soit la plus importante possible (un idéal de 10 fois la largeur à plein bord permettrait d'avoir des effets significatifs sur le plan hydromorphologique).

Exemple

Les figures 25, 26 et 27 ci-contre illustrent quelques cas d'application de la mesure.



Figure 25 : Bovins piétinant le fond d'une rivière à Mulette épaisse non mise en défens (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 26 : Cours d'eau à Mulette épaisse piétiné par les ovins (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 27 : Aperçu d'une mise en défens des berges d'une rivière (crédit photo : Xavier Cucherat).

Mettre en défens les berges (2/2)

Fiche 11.3

Pertinence de la mesure

La mesure permet de soustraire les Mulettes à la pression anthropique sur les berges du cours d'eau en :

- limitant le piétinement du lit mineur par les animaux d'élevage ;
- limitant l'écrasement des Mulettes épaisses ;
- limitant le colmatage du lit mineur induit par le piétinement des animaux d'élevage et le ruissellement de surface ;
- améliorant la qualité de l'eau et des sédiments (diminution de l'apport de matière fécale, abattement des ruissellements de surface, abattement des intrants agricoles de surface percolant dans le sédiment et dans la colonne d'eau).

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- assurer le franchissement transversal du cours d'eau pour les animaux et/ou engin agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantation).

Les chances de réussite sont conditionnées à la pérennité de la mise en œuvre de la mesure (entretien des clôtures et leur installation pour les clôtures temporaires).

Le temps de réponse est rapide : environ une à deux années pour voir les premiers résultats visibles sur la qualité du milieu.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mise en œuvre est conditionnée par l'accord des exploitants agricoles, de la nature de la convention pour assurer la pérennité de la mesure dans le temps et l'espace (figure 28).



Figure 28 : Mise en défens des berges mise à mal du fait de la dynamique fluviale (crédit photo : Xavier Cucherat 2018).

Modalité de suivi envisageable

- État initial du site support de la mise en œuvre de la mesure (permettra d'évaluer la plus-value écologique) ;
- suivis de l'évolution de la qualité écologique du cours d'eau en aval de la zone traitée ;
- suivi de la population de Mulettes concernées.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tout type de projet.

Assurer l'abreuvement des animaux d'élevage (1/2)

Fiche 11.4

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Ensemble du cycle de vie
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire et/ou supprimer le piétinement du bétail au sein du lit mineur du cours d'eau ; • limiter le colmatage ; • réduire la mortalité des individus ; • favoriser la colonisation de l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/développement
Catégorie de la mesure	Améliorer la qualité de l'habitat
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure	<p>La mesure consiste à permettre l'abreuvement des animaux, soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • par un accès déporté, par la mise en place d'une pompe à museau (c'est celle qui présente le moins d'impact sur le cours d'eau) ; • par une descente empierrée d'abreuvement dans la rivière pour les animaux d'élevage qui limite l'érosion des berges et la destruction du lit mineur de la rivière. <p>Ces deux techniques sont à adapter en fonction des besoins et de la configuration du terrain.</p> <p>► Détails techniques pour la pompe à museau : Il existe plusieurs types de pompe à museau. Elle doit être choisie en concertation avec l'éleveur. Cela dit, il est important de tenir compte de la profondeur de la rivière lors de son installation. En effet, la crépine de la pompe à museaux doit se situer à un point de la rivière toujours en eau, même en étiage.</p> <p>► Détails techniques pour la descente empierrée d'abreuvement : À l'endroit décidé pour la mise en place du dispositif, la berge est creusée sur une largeur suffisante (4-5 m) et terrassée en pente douce pour que les animaux soient dirigés vers un accès facile à l'eau de la rivière. Une clôture permanente est installée dans la continuité de la berge pour éviter la progression des animaux dans la rivière. Le fond de l'accès est tapissé d'un géotextile surmonté de graviers ou concassés sur une épaisseur d'au moins 20 cm. Un merlon de géotextile + gravier est disposés en périphérie, pour éviter la fuite des graviers. La profondeur doit être suffisamment importante pour que le dispositif soit toujours en eau même en période d'étiage.</p>
--------------------------------------	--

Point à étudier	<p>Il est important au préalable de diagnostiquer les linéaires du cours d'eau pressentis pour déployer la mesure. Cette étude permettra d'identifier l'aménagement le plus efficace, et les points possibles de l'aménagement choisi.</p> <p>Il est important :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de négocier avec les exploitants agricoles des parcelles en pâture pour mettre en œuvre cette mesure ; • d'étudier la possibilité d'un soutien logistique, financier (achat de matériel, installation) par le truchement de convention avec les exploitants agricoles concernés pour pérenniser la mesure.
------------------------	--

Localisation	La mesure peut être déployée à l'amont et/ou à l'aval immédiat ou le long du projet.
---------------------	--

Ampleur de la mesure	La mesure est à proportionner à la nature et l'impact du projet, mais aussi en fonction des besoins des exploitants agricoles concernés.
-----------------------------	--

Exemple

Figures 29 et 30 ci-après.

Assurer l'abreuvement des animaux d'élevage (2/2)

Fiche 11.4



Figure 29 : Vue d'un dispositif d'abreuvement pour bovins le long d'une rivière (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 30 : Vue d'un dispositif d'abreuvement pour chevaux le long d'une rivière (crédit photo : Xavier Cucherat)

Pertinence de la mesure

La mesure permet de soustraire les Mulettes à la pression anthropique sur les berges du cours d'eau en :

- limitant le piétinement des animaux d'élevage dans le lit mineur ;
- limitant l'écrasement des Mulettes épaisses ;
- limitant le colmatage du lit mineur ;
- améliorant la qualité de l'eau ainsi que des sédiments (diminution de l'apport de matière fécale, abatement des ruissellements et intrants dans le sédiment et dans la colonne d'eau).

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer le franchissement transversal du cours d'eau pour les animaux et/ou engins agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantation).

Les chances de réussite sont conditionnées à la pérennité de la mise en œuvre de la mesure (entretien du dispositif), mais aussi à l'adaptation des animaux à l'usage de cette installation.

Le temps de réponse est rapide : environ une à deux années pour voir les premiers résultats visibles sur la qualité du milieu.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mise en œuvre est conditionnée par l'accord des exploitants agricoles, de la nature de la convention pour assurer la pérennité de la mesure dans le temps et l'espace.

Modalité de suivi envisageable

- État initial du site support de la mise en œuvre de la mesure compensatoire (permettra d'évaluer la plus-value écologique) ;
- suivis de l'évolution de la qualité écologique du cours d'eau en aval de la zone traitée ;
- suivi de la population de Mulettes concernées.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tout type de projet.

Franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles (1/2)

Fiche 11.5

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Ensemble du cycle de vie
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire et/ou supprimer le piétinement du bétail au sein du lit mineur du cours d'eau ; • réduire la mortalité des individus ; • limiter le colmatage ; • favoriser la colonisation de l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/développement
Catégorie de la mesure	Améliorer la qualité de l'habitat
Famille de la mesure	Technique et géographique
Descriptif	
Caractéristiques de la mesure	La mesure consiste à modifier et/ou aménager un dispositif de franchissement de cours d'eau pour limiter le piétinement et la déstructuration du lit mineur.
Détail technique de la mesure	<p>Il existe plusieurs techniques d'aménagements possibles et elles sont à adapter en fonction des cas de figures : passages en lit mineur (passage à gué) ou en supérieur (boviduc). Les dispositifs qui ont le moins d'impacts en lit mineur sont à privilégier.</p> <p>Le principe de base consiste à construire un dispositif permanent de franchissement de la rivière, de manière à ce qu'il permette aux animaux et aux engins agricoles de traverser la rivière, tout en ne représentant pas un obstacle aux transits sédimentaires et aux mouvements des poissons, même en période d'étiage.</p>
Point à étudier	<p>L'étude de la (des) déviation(s) de cheminement vers des points de franchissement existants est à mener au préalable. Dans le cas d'une impossibilité à réaliser une (des) déviation(s), il est important de diagnostiquer les linéaires du cours d'eau pressentis pour déployer la mesure. Cette étude préalable permettra d'identifier les points possibles de l'aménagement et la configuration du dispositif (passage en lit mineur ou en supérieur). Le choix du type d'aménagement doit tenir compte de la nature du cours d'eau (sa largeur, sa mobilité latérale, etc.). Il est recommandé de porter son choix en priorité sur des passages supérieurs pour des cours d'eau ayant une largeur inférieure à 5 m (pour des questions de portance) et de privilégier des passages à gué sur des cours d'eau de largeur supérieure.</p> <p>Il est important :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de négocier avec les exploitants agricoles des parcelles en pâture pour mettre en œuvre cette mesure ; • d'étudier la possibilité d'un soutien logistique, financier (achat de matériel, installation) par le truchement de convention avec les exploitants agricoles concernés pour pérenniser la mesure.
Localisation	La mesure peut être déployée à l'amont et/ou à l'aval immédiat ou le long du projet.
Ampleur de la mesure	La mesure est à proportionner à la nature et l'impact du projet, mais aussi en fonction des besoins des exploitants agricoles concernés.

Franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles (2/2)

Fiche 11.5

Pertinence de la mesure

La mesure permet de soustraire les Mulettes au piétinement des animaux d'élevage qui ont accès au cours d'eau (limitation de l'écrasement des Mulettes), de limiter le colmatage du substrat du cours d'eau. Elle permet de réduire les dégradations de la qualité de l'eau. En passage en lit mineur, elle ne limite pas l'apport de matière fécale dans la colonne d'eau, à l'inverse du passage supérieur. En ce qui concerne les véhicules agricoles, la mesure évite la destruction du lit du cours d'eau et la reprise de fine à chaque passage d'engin, et limite enfin les risques de pollution.

La mesure doit (ou peut) être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer le franchissement transversal du cours d'eau pour les animaux et/ou engin agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantation).

Les chances de réussite sont conditionnées à la pérennité de la mise en œuvre de la mesure (entretien du dispositif).

Le temps de réponse est rapide : environ une à deux années pour voir les premiers résultats visibles sur la qualité du milieu.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mise en œuvre est conditionnée par l'accord des exploitants agricoles, de la nature de la convention pour assurer la pérennité de la mesure dans le temps et l'espace.

Modalité de suivi envisageable

- État initial du site support de la mise en œuvre de la mesure compensatoire (permettra d'évaluer la plus-value écologique) ;
- suivis de l'évolution de la qualité écologique du cours d'eau en aval de la zone traitée ;
- suivi de la population de Mulettes concernées.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.

La mesure concerne tout type de projet.

Création d'une bande de protection végétalisée sans plantation (1/2)

Fiche 11.6

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Ensemble du cycle de vie

Objectif de la mesure

- Favoriser la colonisation de l'espèce ;
- limiter l'effet des effluents agricoles ;
- limiter le lessivage des fines.

Durée de la mise en œuvre

Court à long terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase d'exploitation/développement

Catégorie de la mesure

Limitier les impacts et préserver l'existant
Améliorer la qualité de l'habitat

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La mesure consiste à laisser une surface végétale rivulaire qui ne sera pas soumise aux activités d'origine anthropique. Cette surface rivulaire est laissée en libre évolution, aucune plantation n'y est réalisée. La libre évolution est un choix philosophique dans le projet (ensauvagement des cours d'eau, laisser la dynamique naturelle) avec des risques de colonisation par des espèces végétales exotiques envahissantes cependant.

Quoi qu'il en soit, cette zone de bande doit être préservée :

- par une mise en défens lorsqu'il y a des animaux d'élevage
ou
- ▶ par un balisage spécifique sur les zones de travaux.

Point à étudier

Il est nécessaire d'avoir un diagnostic préalable des berges concernées afin de déterminer la longueur et la largeur à laisser en libre-évolution. Ce diagnostic devra prendre en compte les caractéristiques des berges et l'occupation du milieu (ex. élevage, présence d'EEE, zone de chantier). Les longueurs à mettre en défens sont à déterminer au préalable et à localiser par la pose de clôtures permanentes ou temporaires (étape donc de mise en défens). Pour les zones de chantier, la bande doit être préalablement définie dans le plan de chantier et balisée pour éviter toute intrusion et/ou dépôts divers de quelle que nature que ce soit.

Détail de la mise en œuvre

Cette mesure est indépendante de la mise en défens contre des animaux (voir fiche concernée), mais cette dernière peut y contribuer et/ou s'ajouter.

Quelle que soit la situation, il est suggéré que la bande figure sur le cadastre ou bénéficie d'un statut foncier particulier (cela peut aussi être fait pour la pérennisation des surfaces balisées pour les chantiers sur le long terme).

En situation de zones d'élevage, une bande tampon d'une largeur minimale de 2,5 m est recommandée (pour garantir le non-abrutissement par les animaux par exemple).

En situation de chantier, une bande tampon d'une largeur minimale de 2,5 m est également recommandée, et sera délimitée par une clôture ou des dispositifs spécifiques de chantiers (rubalise).

La végétation peut ensuite être traitée de deux manières :

- elle peut être laissée en libre évolution, et aucune intervention d'entretien n'est recommandée (il se peut qu'elle soit fauchée par l'exploitant agricole, mais ce n'est pas recommandé, cela perdrait de son intérêt). Elle est à moindre coût et la colonisation peut être plus ou moins rapide, mais généralement la végétation se développe vite (compte tenu du caractère généralement enrichi des berges de cours d'eau) ;
- elle peut alterner avec des plantations (voir fiche 11.7).

Création d'une bande de protection végétalisée sans plantation (2/2)

Fiche 11.6

Localisation

La mesure peut être déployée à l'amont, le long et à l'aval immédiat de la zone d'emprise et d'impact indirect.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes. A minima, la longueur de cours d'eau concernée doit au moins correspondre à 10 fois la largeur à plein bord.

Exemple

Se référer aux figures de la fiche 11.4.

Pertinence de la mesure

La pertinence dépendra de l'environnement traversé par le cours d'eau. En secteur de lit majeur en culture annuelle, la mesure sans plantation permettra le développement d'une végétation spontanée (piège à nitrate) qui sera source de diversification des apports en nourriture pour l'espèce et pour ses poissons-hôtes. Il en sera de même pour les secteurs d'élevage. Dans le cas des chantiers, cette zone de bande limitera les écoulements de surface vers la rivière.

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer le franchissement transversal du cours d'eau pour les animaux et/ou engin agricoles.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Cette mesure doit être mise en œuvre avec le concours des propriétaires riverains (sans que cela soit à leur charge). L'entretien de ces zones tampons est inutile, il viendrait mettre en échec l'objectif de la mesure qui est de laisser la végétation spontanée s'exprimer.

Modalité de suivi envisageable

- Vérification du respect des clôtures et du balisage ;
- vérification et contrôle de l'usage des zones tampons.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.

La mesure concerne tout type de projet.

Création d'une bande d'une ripisylve pérenne (1/2)

Fiche 11.7

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Ensemble du cycle de vie
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Favoriser la colonisation de l'espèce ; limiter l'effet des effluents agricoles ; limiter le lessivage des fines.
Durée de la mise en œuvre	Court à long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/développement
Catégorie de la mesure	<p>Limitier les impacts et préserver l'existant</p> <p>Améliorer la qualité de l'habitat</p>
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure	<p>La mesure consiste à planter des essences ligneuses adaptées au contexte local, soit pour créer une ripisylve <i>ex nihilo</i> ou bien renforcer une ripisylve existante dégradée. Cette mesure est plus ambitieuse que celle ne visant qu'à laisser la végétation en libre évolution, parce qu'elle nécessite des moyens plus conséquents pour la mettre en oeuvre. Elle implique également l'atteinte des résultats fixés, et non des moyens mis en oeuvre, pour être considérée comme réussie. Elle peut être éligible, selon les dossiers, aux mesures compensatoires. Quoiqu'il en soit, cette zone de bande doit être préservée :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ par une mise en défens lorsqu'il y a des animaux d'élevage ou ▶ par un balisage spécifique sur les zones de travaux.
-------------------------------	--

Point à étudier	<p>Il est nécessaire d'avoir un diagnostic préalable des berges concernées sur les points suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> dans le cas des rives avec ripisylve, le diagnostic doit porter sur l'état du linéaire de ligneux et s'assurer que les moyens fonciers puissent permettre le déploiement de la mesure. L'accord avec les riverains et/ou exploitants agricoles est un préalable ; dans le cas des rives sans ripisylve, avec ou sans élevage ou en zone de chantier, les longueurs à mettre en défens sont à déterminer et à localiser par la pose de clôtures permanentes ou temporaires (étape donc de mise en défens). Pour les zones de chantier, la bande doit être préalablement définie dans le plan de chantier et balisée pour éviter toute intrusion et/ou dépôts divers de quelle que nature que ce soit.
-----------------	--

Détail de la mise en oeuvre	<p>Cette mesure est indépendante de la mise en défens contre des animaux (voir fiche concernée), mais cette dernière peut y contribuer et/ou s'ajouter.</p> <p>Quelle que soit la situation, il est suggéré que la bande figure sur le cadastre ou bénéficie d'un statut foncier particulier (cela peut aussi être fait pour la pérennisation des surfaces balisées pour les chantiers sur le long terme).</p> <p>En situation de zones d'élevage, une bande tampon supplémentaire d'une largeur minimale de 2,5 m est recommandée (pour garantir le non-abroutissement par les animaux par exemple).</p> <p>En situation de chantier, une bande tampon d'une largeur minimale de 2,5 m est également recommandée, et sera délimitée par une clôture ou des dispositifs spécifiques de chantiers (rubalise).</p> <p>La bande en défens sera plantée en essences ligneuses locales inféodées aux rives de cours d'eau (espèces dites hygrophiles) caractéristiques du bassin versant du cours d'eau concerné. Il peut s'agir d'une plantation sur une surface vierge sans arbres, ou en renforcement pour combler les trouées d'une ripisylve dégradée. Si ce choix est décidé, alors il y a une obligation de résultats de la mesure. Ceci signifie que les plantations doivent respecter le calendrier et les modalités de plantation. La densité des plants et le plan de plantation sera à adapter en fonction des situations.</p>
-----------------------------	---

Création d'une bande d'une ripisylve pérenne (2/2)

Fiche 11.7

Localisation

La mesure peut être déployée à l'amont, le long et à l'aval immédiat de la zone d'emprise et d'impact indirect.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes. Il n'y a pas de longueur minimale, toutes longueurs de rives plantées seront un gain pour le cours d'eau. Cependant, pour qu'il y ait un effet significatif nous recommandons que la longueur de rives plantées corresponde au moins à 10 fois la largeur à plein bord.

Exemple



Figure 31 : Aperçu d'une plantation de ripisylve (crédit photo : Sébastien Mougenez).

Pertinence de la mesure

La mesure limitera les apports en matière organique pour le cours d'eau. Elle augmentera également l'ombrage et donc une certaine régulation thermique. Enfin, les arbres permettront le renforcement naturel et le maintien de la berge. Ils permettront également par leur présence ou l'apport de matériaux (bois morts) la création d'habitats favorables à la faune aquatique et la création de zones de diversification des écoulements. Dans le cas des chantiers, cette zone de bande limitera les écoulements de surface vers la rivière.

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer le franchissement transversal du cours d'eau pour les animaux et/ou engin agricoles.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Cette mesure doit être mise en œuvre avec le concours des propriétaires riverains (sans que cela soit à leur charge). L'entretien de ces bandes est inutile, il viendrait mettre en échec l'objectif de la mesure qui est de laisser la végétation spontanée s'exprimer. Il sera cependant nécessaire d'être vigilant à l'arrivée et à l'installation d'EEE. Dans ce cas, s'il y en a préalablement et spontanément, il s'agira d'assurer suivi et ou une gestion du site jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de risques pour les plants.

S'il y a échec des plantations, il y a alors obligation de replanter à nouveau. Il s'agit donc de bien réaliser les plantations, aux bonnes périodes et adapter les protections des plants aux pressions potentielles d'abrouissement.

Modalité de suivi envisageable

- Vérification du respect des clôtures et du balisage ;
- vérification et contrôle de l'usage des zones tampons ;
- vérification de la réussite de la plantation dans le temps.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tout type de projet.

Pêche de sauvegarde des individus (1/4)

Fiche 11.8

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Individus adultes et juvéniles

Objectif de la mesure

- Réduire la mortalité des individus

Durée de la mise en œuvre

Moyen à long terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase préalable au chantier

Catégorie de la mesure

Limiter les impacts et préserver l'existant

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La Mulette épaisse est mobile dans le substrat du cours d'eau, mais elle ne s'échappe pas face au danger (comme les Oiseaux ou autres animaux mobiles) ; elle ferme ses valves à tout le moins pendant un certain temps. Les individus situés dans la zone d'emprise ne s'enfuient donc pas. La pêche de sauvegarde devient alors une mesure impérative de réduction de la mortalité des individus, si les mesures d'évitement n'existent pas (cela doit être justifié). La mesure consiste à collecter les spécimens de la zone d'emprise et à les implanter dans un autre endroit de la rivière. Ce site de réception ou d'accueil des individus déplacés doit se trouver dans une partie de la rivière qui ne devra pas être sous l'effet de travaux provenant de l'amont. Les sites d'accueil ne peuvent être localisés qu'en cours d'eau. Aucun déplacement en plan d'eau ou dans des fossés ne doit être effectué.

La présence d'individus de Mulette épaisse et de preuves de reproduction dans les sites de réception est un prérequis avant toute implantation. En effet, l'absence de Mulette épaisse signifie peut-être que le site de réception ne présente pas les caractéristiques suffisantes pour maintenir les individus. En l'absence de Mulette épaisse, la présence d'autres espèces de mulettes et de leur reproduction, doit également être appréciée. La reproduction de l'espèce peut être vérifiée par la réalisation d'excavation et de tamisage du sédiment excavé sur un tamis de maille 5 x 5 mm.

Point à étudier

La collecte, la manipulation et le transport des individus de la zone d'emprise sont subordonnés à l'obtention d'une dérogation aux interdictions d'atteinte à des espèces protégées, à obtenir dans le cadre des autorisations du projet.

Par ailleurs, dans la constitution du dossier, il est nécessaire :

- d'avoir une estimation préalable rigoureuse du nombre d'individus de la zone d'emprise à déplacer (estimation effectuée à partir de méthodes et techniques appropriées et adaptées au contexte) ;
- de détailler, en fonction du contexte, l'effort nécessaire (humain, logistique et les dates de passages) à consentir pour atteindre l'objectif de déplacement des 85 % de l'estimation du nombre d'individus impactés directement et/ou dans la zone d'impacts indirects forts.

Ces informations doivent être acquises au moment de l'état initial et figurer dans l'étude d'impact.

Dans le cas particulier des remous d'ouvrages hydrauliques, il est nécessaire d'avoir une estimation de l'abondance de la zone d'emprise des travaux et la zone d'impact indirect située à l'amont (puisque les individus présents vont se retrouver exondés par la baisse du niveau de l'eau).

Pêche de sauvegarde des individus (2/4)

Fiche 11.8

Détail de la mise en œuvre

Sélection des sites d'accueil, de réceptions et/ou d'implantation :

■ Rechercher des sections de cours d'eau en essayant de respecter, autant que faire se peut, les critères suivants :

- une longueur comprise entre le sous-faciès et le faciès (quelques fois à quelques dizaines de fois la largeur à plein bord du cours d'eau), de manière à être dans une cohérence écologique et biologique et de permettre une estimation correcte des densités et de pouvoir faire un suivi futur rigoureux ;
- de préférence à l'amont de la zone d'emprise ou de la zone d'impacts indirects amont ou dans un affluent direct, où les Mulettes sont présentes et se reproduisent (réalisations d'excavations nécessaires) :
 - la proximité géographique n'est pas importante, le point crucial est que le site doit être dans le même cours d'eau ou dans un affluent situé à l'amont ;
 - les déplacements inter-cours d'eau (hors bassin-versant) sont à proscrire pour des questions de pollution génétique, de transmissions de parasites, etc.
- S'assurer que les stations de réception n'aient pas à subir des travaux sur le moyen/long terme ;
- s'assurer que la station de réception n'héberge pas de prédateurs de Mulettes pouvant compromettre le succès du déplacement (Rat musqué, Ragondin) (figure 32) ; si oui, mettre en œuvre des mesures de destruction de ces prédateurs pour éviter les déprédations sur les individus déplacés :
 - la mise en œuvre de mesures de destruction des prédateurs de la Mulette épaisse peut se faire par accord avec les sociétés de piégeages ou les fédérations locales de chasse ou encore par un lieutenant de louveterie ;
 - il est rappelé que le porteur de projet a une obligation de résultat dans la mesure exposée ici ;
 - en cas d'impossibilité de lutte contre ces espèces, il est recommandé d'implanter les animaux dans les parties les plus inaccessibles pour eux (profondes et avec du courant, moyennant la présence de Mulettes épaisses résidentes).



Figure 32 : Individus de Mulette épaisse marqués consommés peu de temps après leur déplacement par le Rat musqué (crédit photo : Xavier Cucherat).

- Estimer les densités de Mulettes sur la ou les stations d'implantation, pour déterminer le nombre de spécimens pouvant être implantés.

■ Modalités du déplacement :

- Récupérer les spécimens de la population cible de la zone d'emprise et/ou de la zone d'impact indirect :
 - les recherches peuvent être visuelles et/ou par excavation avec tamisage de sédiment [tamis de maille 5 mm] ;
 - il est difficile d'indiquer un nombre minimal de passages pour récupérer tous les spécimens. Tout dépend de : l'expérience des personnes qui réalisent la mesure, de leur capacité à détecter les individus lors de recherches visuelles, des densités et des conditions du milieu ;
 - réaliser autant de passages que nécessaire pour atteindre le déplacement, a minima, des 85 % de l'estimation de l'abondance des individus dans la zone considérée. La vérification devrait être complétée par la réalisation d'excavations ;
- marquer la surface de la coquille (figure 33) ou par fixation d'une puce (ex. PIT-TAG) d'une partie des spécimens pour en assurer le suivi des individus déplacés vs résidents (cf. modalité de suivi) ;

- déplacer les spécimens dans un dispositif maintenant l'humidité et la fraîcheur, dans les plus brefs délais (Waller et al. 1995) :
 - il est recommandé de placer les individus dans un sac en toile de lin, humide et dans une glacière (figure 34) ;
 - le déplacement en eau stagnante est à proscrire du fait des risques de proliférations bactériennes lors des variations de température en milieux aqueux qui risquent de tuer les individus captifs ;
- les implanter dans les sections de réception, de préférence là où il existe des juvéniles :
 - par précaution, il est recommandé de ne pas doubler les densités du site de réception, même s'il n'y a pas d'effet de surpopulation actuellement connu ;
 - les individus sont complètement implantés dans leur position naturelle, c'est-à-dire avec la partie postérieure de l'animal en pleine eau et la partie antérieure dans le substrat, et non déposés sur le fond de la rivière [cela implique a minima que les opérateurs connaissent la morphologie des Mulettes !].

Pêche de sauvegarde des individus (3/4)

Fiche 11.8

Localisation

La mesure peut être déployée à l'amont de la zone d'impact indirect ou dans un affluent le plus proche.

Ampleur de la mesure

La mesure est systématiquement mise en œuvre et les moyens financiers et humains doivent être proportionnés à l'abondance estimée.

Exemples



Figure 33 : Individu de Mulette épaisse marqué à l'aide d'une ©Dremel (crédit photo : Xavier Cucherat).



Figure 34 : Mulettes capturées temporairement mises dans un filet de pêche en attendant leur transfert dans des stations de réception (crédit photo : Xavier Cucherat).

Pertinence de la mesure

Cette mesure est impérative s'il n'y a pas eu d'évitement total des impacts du projet. Les chances de réussite sont variables. Si elle est bien conduite, elle permet de réduire la mortalité des individus en phase chantier. Les chances sont augmentées si la mesure de déplacement est accompagnée des mesures recommandées (cf. ci-après).

Pêche de sauvegarde des individus (4/4)

Fiche 11.8

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Cette disposition n'est possible que dans la zone d'emprise et/ou la zone d'impact indirect dans le cas des remous d'ouvrages hydrauliques, pour des questions techniques, logistiques, financières et biologiques. En effet, il n'est pas possible de déplacer tous les spécimens présents dans les zones d'impacts indirects. Par ailleurs, cela n'est pas forcément judicieux car, s'il y a des effets indirects faibles, il existe des risques de déplacer les individus d'une zone où *a priori* ils se sentent bien.

Il est recommandé d'effectuer le déplacement en période d'étiage du cours d'eau et en dehors de la période de frai de la Mulette épaisse de manière :

- à permettre une vérification post-déplacement aisée ;
- à éviter les avortements prématurés liés aux manipulations et variations de température.

Elle doit être effectuée par des malacologues expérimentés, autorisés dans le cadre de l'obtention d'une dérogation « espèces protégées » accordée au projet.

Par précaution, compte tenu du flux amont-aval des cours d'eau, il est vivement recommandé que les individus ne soient pas déplacés à l'aval du projet pour éviter toutes atteintes liées à des pollutions accidentelles ou une mauvaise appréciation de la zone d'impacts indirects à l'aval.

Idéalement, tous les individus de la population ciblée devraient être capturés et déplacés, d'où l'importance de l'estimation de l'abondance des individus dans cette zone lors de l'état initial pour mesurer l'effort à consentir pour se rapprocher de cet objectif.

Cependant, on soulignera qu'il est difficile de déplacer tous les individus, surtout les juvéniles ayant une longueur inférieure à 5 mm, à moins de tamiser tout le sédiment de la zone considérée. Par conséquent, le porteur de projet devra prévoir les efforts nécessaires pour atteindre le seuil minimal de 85 % de l'abondance estimée de la population cible. Si ce seuil de 85 % n'est pas atteint, la mesure ne sera pas considérée comme réussie et le porteur de projet devra mettre en œuvre des mesures compensatoires proportionnées au résultat du nombre d'individus déplacés.

Il est recommandé que la mesure soit associée aux mesures suivantes (à mettre en œuvre avant et pendant) :

- mettre en défens les berges ;
- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles,
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantation) ;
- lutter contre les espèces prédatrices exotiques envahissantes (à poursuivre après la pêche de sauvetage) ;
- assurer un débit minimum ;
- réduire la matière en suspension dans le cours d'eau.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi post-déplacement (voir fiche 12.1) ;
- suivi du projet (voir fiches 12).

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tout type de projet.

Améliorer le déplacement des poissons hôtes (1/2)

Fiche 11.9

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Phase parasitaire
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Favoriser la colonisation de l'espèce ; favoriser les populations de poissons-hôtes.
Durée de la mise en œuvre	Long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/développement
Catégorie de la mesure	<p>Limiter les impacts et préserver l'existant</p> <p>Augmenter la disponibilité en poissons-hôtes</p>
Famille de la mesure	Technique et géographique
Descriptif	
Caractéristiques de la mesure	<p>Les dispositifs de franchissement piscicole sont dimensionnés pour répondre à la biologie des poissons cibles, en fonction de leur besoin de dispersion et de mouvement. Ces mouvements piscicoles ne sont pas forcément en lien avec la biologie des espèces qui en dépendent. Ici, la mesure propose de tenir compte des obstacles au déplacement des poissons-hôtes (cf. annexe II), lorsqu'ils se meuvent pendant la période de frai de la Mulette épaisse (printemps et été), pour que cette dernière puisse coloniser d'autres parties de cours d'eau.</p> <p>Cette mesure implique soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> l'aménagement de passes à poissons fonctionnelles pour les poissons concernés ; la prise en compte de ces espèces dans la conception des dites passes à poissons.
Point à étudier	<p>La démarche est en deux grandes étapes :</p> <ol style="list-style-type: none"> diagnostic de la franchissabilité de l'ouvrage existant selon méthode ICE de Baudoin et al. (2004) ; puis, si besoin équipement de l'ouvrage avec une passe à poissons dont les critères de conception sont donnés par d'autres guides. <p>Il est nécessaire également de connaître les éventuels usages de l'ouvrage. Le ou les ouvrages doivent être transparents pour les poissons-hôtes primaires pendant la période de reproduction de la Mulette épaisse.</p>
Détail de la mise en œuvre	<p>On se référera aux références consultables citées en fin de fiches pour les détails techniques d'évaluation et de conception.</p> <p>Les détails techniques de l'aménagement doivent tenir compte de cette évaluation et l'appui de structures spécialisées dans le franchissement de tels ouvrages est indispensable. Les Fédérations Départementales de Pêche peuvent être associées en phase de concertation. Les bureaux d'études spécialisés peuvent être consultés pour déterminer la faisabilité de la mesure, sa conception et son dimensionnement.</p>
Localisation	La mesure peut être déployée à l'amont et à l'aval immédiat de la zone d'emprise et d'impact indirect.
Ampleur de la mesure	La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes.

Améliorer le déplacement des poissons hôtes (2/2)

Fiche 11.9

Pertinence de la mesure

Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des sections amonts du cours d'eau où il existe des témoignages anciens de présence de la Mulette ou si des études ADNe indiquent l'absence de l'espèce à l'amont de la zone d'emprise ou d'impact indirect. Les chances de réussite ne sont pas garanties, mais d'une manière générale la mesure contribuera à améliorer la probabilité de colonisation de l'espèce vers les parties de cours d'eau où elle en a disparu (si tel est le cas) et/ou améliorer les flux de gènes.

La mesure peut être associée aux mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantations).

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Cette mesure est à définir selon enjeux et obligations réglementaires et doit être mise en œuvre avec le concours des propriétaires riverains.

Modalité de suivi envisageable

L'efficacité de la mesure pourrait être évaluée par l'étude de la franchissabilité par les poissons-hôtes du ou des ouvrages concernés. Il est plus difficile d'évaluer la mesure sur la propagation de juvéniles de Mulettes, donc de l'implantation d'individus, sauf si l'amont de l'ouvrage n'est pas colonisé par l'espèce. Dans ce cas, un suivi de colonisation par l'espèce est envisageable par recherches visuelles ou par ADNe.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tout type de projet.

Références consultables

Larinier et al, 1994. Passes à poissons - Expertise et conception des ouvrages de franchissement. Collection Mise au Point. 336 p.

Larinier M., Courret D. & Gomes P., 2006. Guide technique pour la conception des passes «Naturelles». 67 p.

Baudoin, J.-M., V. Burgin, M. Chanseau, M. Larinier, M. Ovidio, W. Sremski, P. Steinbach & B. Voegtler 2014. — *Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons – Principe et méthodes*. Information sur la Continuité Écologique, Comprendre pour agir, ONEMA, 200 pages

https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/SPP2010_Continuite_Cours-deau.pdf

<https://patbiodiv.ofb.fr/referentiel-technique/domaine-aquatique/continuite-ecologique-aquatique/montaison/etapes-metier/41>

Lutte contre les espèces prédatrices exotiques envahissantes (1/2)

Fiche 11.10

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Adulte
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenir l'espèce ; • réduire la mortalité des individus ; • favoriser la colonisation de l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Court et moyen terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Avant les impacts du projet Phase travaux Phase d'exploitation/fonctionnement
Catégorie de la mesure	Limitier les impacts et préserver l'existant Améliorer la qualité de l'habitat
Famille de la mesure	Technique et géographique
Descriptif	
Caractéristiques de la mesure	<p>L'objectif principal est ici de diminuer de manière forte la pression de prédation sur les Mulettes.</p> <p>Il s'agit ici de déployer des mesures qui permettront de lutter contre les principales EEE prédatrices de la Mulette épaisse et qui ont un impact significatif sur ses populations. Les espèces concernées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le Rat musqué <i>Ondatra zibethicus</i> (Linnaeus, 1766), • le Ragondin <i>Myocastor coypus</i> (Molina, 1782). <p>Le Raton-laveur <i>Procyon lotor</i> (Linnaeus, 1758) peut également être concerné, mais la prédation sur les Mulettes n'est pas documentée. Si tel est le cas à l'avenir, l'action pourra lui être appliquée.</p>
Point à étudier	Au préalable, une évaluation de la pression de prédation est à mettre en œuvre avec la localisation des familles (terriers) des prédateurs sur la zone considérée.
Détail de la mise en œuvre	<p>Toutes les méthodes de lutte pourront être mises en œuvre, à l'exception des méthodes chimiques.</p> <p>Ces méthodes doivent être spécifiques c'est-à-dire uniquement ciblées sur les espèces désignées : le Rat musqué et le Ragondin. Cette lutte doit être menée par des personnes habilitées et préalablement formées pour cela (louvettier, piégeur agréé ou éventuellement fédération de chasse ou de piégeage local).</p> <p>Dans l'idéal, il est recommandé de débiter la mesure le plus tôt possible (environ un an avant le déplacement) mais la mettre en oeuvre quoi qu'il en soit, même si un délai plus précoce n'est pas envisageable. L'efficacité de la mesure se traduira par les résultats obtenus, et non sur les moyens mis en oeuvre.</p>
Localisation	La mesure peut être déployée à l'amont, le long et à l'aval immédiat de la zone d'emprise et d'impact indirect.
Ampleur de la mesure	La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat de la Mulette épaisse.

Lutte contre les espèces prédatrices exotiques envahissantes (2/2)

Fiche 11.10

Pertinence de la mesure

Cette mesure est particulièrement pertinente :

- pour garantir les pêches de sauvegarde ;
- pour favoriser la recolonisation de section de cours d'eau où l'espèce en a disparu (en particulier à cause de la prédation).

Cette mesure doit être systématiquement associée à la mesure de pêche de sauvetage des individus.

Les chances de réussite ne sont pas connues, mais l'effet escompté est une baisse de la pression de prédation.

Le temps de réponse n'est pas connu.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mesure doit être mise en œuvre de manière soutenue dans le temps sur un linéaire significatif de cours d'eau ou, dans certains cas, sur l'ensemble du bassin versant d'un cours d'eau. Aucune durée n'est fixée ici. Elle dépendra de l'efficacité des mesures de piégeages.

Modalité de suivi envisageable

Le suivi de la mortalité des Mulettes par les faits de prédation pourrait être un indicateur de la pression de prédation.

L'évolution des prises de Rats musqués et de Ragondins peut également être une variable de suivi de l'efficacité de la mesure.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.

La mesure concerne tout type de projet.

Améliorer le milieu pour l'accueil des poissons-hôtes (1/2)

Fiche 11.11

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Reproduction et poissons-hôtes
Stade larvaire

Objectif de la mesure

- Maintenir l'espèce ;
- favoriser la colonisation de l'espèce.

Durée de la mise en œuvre

Moyen et long terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase d'exploitation/fonctionnement

Catégorie de la mesure

Limitier les impacts et préserver l'existant
Améliorer la qualité de l'habitat

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

L'idée globale est de mettre en oeuvre un ensemble de mesures sur le milieu aquatique pour augmenter la capacité d'accueil des poissons-hôtes de la Mulette épaisse. Ces mesures ne sont pas détaillées ici parce qu'il y en a beaucoup de possibles en fonction des poissons-hôtes considérés.

En intervenant ainsi, l'effet escompté est d'influencer la densité de poissons disponibles pour augmenter la probabilité de fixation de larves glochidiées. Ainsi, il est espéré favoriser la reproduction et la propagation des Mulettes. Les aménagements doivent rester simples et ne doivent pas impacter d'éventuelles Mulettes déjà présentes. Il s'agit ici de favoriser principalement les processus de diversification plus que les formes de diversification.

Point à étudier

Au préalable :

- une évaluation de l'état physique du cours d'eau pour déterminer sa fonctionnalité pour la reproduction des poissons-hôtes ;
- une évaluation de la densité de poisson-hôte est nécessaire pour déterminer les efforts à consentir en matière d'aménagements ;
- adapter les aménagements en fonction du cycle biologique et l'écologie de chacune des espèces de poissons-hôtes présentes.

Détail de la mise en œuvre

L'opérateur pourra s'appuyer sur les compétences techniques de bureaux d'études spécialisés ou des fédérations départementales de pêche.

La priorité est de réactiver les processus hydro-morphologiques du cours d'eau, mais dans les cas où cela n'est pas possible (pour diverses raisons), deux solutions techniques sont proposées, en fonction des poissons hôtes cibles (mais il y en a d'autres) :

- **solutions à privilégier** : La pose d'embâcles, par le truchement de dépôts de branches et de troncs. Ces structures permettront d'accélérer le courant, donc de diversifier les écoulements et le substrat, et d'offrir des caches pour les poissons (mais aussi pour les Mulettes) ;
- **solution secondaire** : La pose de déflecteurs dans le lit mineur, qui permettront de diversifier le flux liminaire et la composition du substrat.

Localisation

La mesure peut être déployée à l'amont, le long et à l'aval immédiat de la zone d'emprise et d'impact indirect.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes.

Améliorer le milieu pour l'accueil des poissons-hôtes (2/2)

Fiche 11.11

Pertinence de la mesure

Cette mesure est de moindre coût. Elle mimera le fonctionnement naturel des cours d'eau, dans le cas où il sera impossible de réactiver les processus hydromorphologiques. Les Mulettes tireront bénéfice de cette mesure, par la diversification du substrat offert aux poissons pour améliorer leur reproduction.

Les observations de terrain indiquent que les poissons-hôtes se concentrent aux alentours des embâcles ou autres structures (déflecteurs) comme zone de repos ; il en est de même pour les Mulettes. Cependant, une évaluation précise de l'efficacité de la mesure sur les poissons-hôtes est à mener, ainsi que la réponse des Mulettes sur ses densités dans les sections de cours d'eau où les deux taxons sont absents avant l'installation de ces structures.

Le temps de réponse n'est pas connu.

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantations).

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Sans objet.

Modalité de suivi envisageable

- Le suivi des densités de poissons par les techniques de suivi d'usage ;
- le suivi de la (re-)colonisation des Mulettes et de leurs densités.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau
La mesure concerne tout type de projet

Assurer un débit minimum

Fiche 11.12

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Adulte
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la mortalité des individus ; • maintenir l'espèce ; • maintenir la qualité du milieu (substrat notamment).
Durée de la mise en œuvre	Court terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase travaux
Catégorie de la mesure	Limitier les impacts et préserver l'existant
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure La plupart des espèces de bivalves patrimoniaux sont des espèces d'eaux vives (eau toujours en mouvement). Elles ne tolèrent pas ou très peu la stagnation de la masse d'eau (à tout le moins pendant un temps limité). En l'absence d'éléments de connaissance précis, il est recommandé d'assurer un débit au plus proche du débit naturel du cours d'eau et de ne pas descendre en dessous du débit mensuel minimum de retour 5 ans (QMNA5).

Point à étudier La faisabilité technique de la mesure au regard de la nature des travaux envisagés.

Détail de la mise en œuvre L'opérateur devra s'appuyer sur les compétences techniques de bureaux d'études spécialisés pour définir les moyens techniques suffisants pour tenir compte d'un tel débit (pose de buse de section adéquate, barrages temporaires avec surverse, etc.).

Localisation La mesure est à déployer dans la zone d'emprise des travaux.

Ampleur de la mesure La mesure doit être adaptée à la nature des travaux.

Pertinence de la mesure

Cette mesure évite la stagnation de l'eau (donc de l'élévation de la température et le colmatage des fonds), mais aussi un débit minimum pour éviter l'assèchement d'une section de cours d'eau pour assurer des travaux. La mortalité des individus devrait alors être limitée.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

L'observation de mortalité, généralement survenant après la mise en mouvement des individus parce que les conditions locales ne leur conviennent plus, doit être un point de vigilance de la part de l'opérateur. L'augmentation du débit sera nécessaire dans ce cas, ce qui signifie que le dossier doit étudier les conditions pour prévoir cette éventualité de devoir augmenter le débit.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de la mortalité des Mulettes et de leurs mouvements : en cas d'observation de mouvement anormal ou de mortalité, l'augmentation du débit sera nécessaire.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne les projets impliquant une modification du débit pour le chantier.

Abattre la matière en suspension issue de travaux et/ou perturbation (1/2)

Fiche 11.13

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Adulte
Larve
Poissons-hôtes

Objectif de la mesure

- Réduire la mortalité des individus ;
- maintenir l'espèce ;
- limiter le colmatage des fonds.

Durée de la mise en œuvre

Court terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase travaux

Catégorie de la mesure

Limiter les impacts et préserver l'existant

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

Lors de travaux en rivière ou lors d'affouillements en lit mineur, comme lorsque des animaux d'élevage piétinent le lit mineur ou lorsque des engins traversent, une part importante de sédiments fins peut être mobilisée de manière non naturelle (c'est-à-dire en dehors des mouvements de sédiment liés au fonctionnement du cours d'eau). Cette mobilisation non naturelle de matière en suspension présente deux principaux risques pour les Mulettes situées dans la zone d'impact indirect :

- augmenter la Demande Biologique en Oxygène (DBO),
- augmenter le colmatage du substrat (réduit la circulation d'eau interstitielle et donc les apports d'oxygènes et nutriments), et augmenter la dénitrification de l'eau interstitielle.

Les conséquences sont de rendre la colonne d'eau et le substrat impropres pour le maintien des adultes et des juvéniles, risquant d'augmenter une mortalité non naturelle. La mesure doit être temporaire (mais elle peut aussi être permanente) et durer le temps de recouvrer un taux naturel de matière en suspension dans le cours d'eau.

Point à étudier

Le dimensionnement de la mesure est à adapter en fonction l'émission prévue de matière en suspension.

Détail de la mise en œuvre

L'opérateur pourra s'appuyer sur les compétences techniques de bureaux d'études spécialisés ou des fédérations départementales de pêche.

Les dispositifs pouvant être mis en œuvre (ils ne sont pas exclusifs) :

- installation et/ou aménagement de pièges à sédiment [estomac à sédiment] (peut être permanente) ;
- installation de dispositif d'abattement de fines (installation de ballots de pailles et/ou de graves en travers du cours d'eau) (doit être temporaire).

Localisation

La mesure est à déployer juste à l'aval de la zone d'emprise des travaux.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être adaptée à la nature des travaux.

Abattre la matière en suspension issue de travaux et/ou perturbation (2/2)

Fiche 11.13

Exemple



Figure 35 : Exemple de barrière anti-fines disposée en travers du cours d'eau. Ici, il s'agit de graves de gros diamètre (diamètre > 5 cm) qui ont été déposées par un engin de chantier pour abattre des fines produites en amont dans le cadre d'un reméandrage de cours d'eau (crédit photo : Xavier Cucherat).

Pertinence de la mesure

C'est une mesure d'ordre général qui permet de réduire un apport excessif et brutal non naturel d'éléments qui peuvent perturber le cycle biologique des Mulettes.

Dans le cas d'installations permanentes (cas des pièges à sédiments), la mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantations).

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Le dispositif de la mesure doit être installé dans un endroit du cours d'eau où la Mulette épaisse n'est pas présente. Dans l'idéal, le dispositif doit être mis dans la zone tampon juste à l'aval de l'aire d'emprise du projet ; cette dernière aura bénéficié au préalable d'une pêche de sauvetage des individus. Si cela n'est pas possible d'installer le dispositif dans la zone tampon de l'aire d'emprise, les individus de Mulette épaisse qui seront (éventuellement) présents au droit et à l'amont de l'emplacement de ce dispositif devront faire l'objet d'une pêche de sauvetage eux aussi.

Cette mesure peut cumuler différentes techniques pour augmenter en efficacité.

Cette mesure est d'autant plus importante que le débit et le courant sont faibles et le cours d'eau peu large.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de la mortalité de la Mulette épaisse à l'aval de la mesure ;
- suivi de la MES ;
- suivi de la DBO.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.

La mesure concerne tous les projets.

Abattre la matière en suspension et limiter les risques de pollution provenant du lit majeur

Fiche 11.14

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Adulte
Larve
Poissons-hôtes

Objectif de la mesure

- Réduire la mortalité des individus ;
- maintenir l'espèce.

Durée de la mise en œuvre

Court et moyen terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Avant les impacts du projet
Phase travaux

Catégorie de la mesure

Conserver en l'état
Limiter les impacts et préserver l'existant

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La mesure consiste à concevoir, à adapter et à mettre en œuvre des dispositifs qui aboutiront à un zéro apport de particules fines et/ou de pollution dans le cours d'eau venant du lit majeur, en l'occurrence de la phase terrestre du chantier. En fonction de sa mise en place dans le temps et dans l'espace, elle pourra être considérée comme une mesure d'évitement ou de réduction.

Point à étudier

La situation topographique et le sens des écoulements des eaux de ruissellement, ainsi que la configuration du paysage sont des points essentiels à étudier avant le lancement de la phase travaux.

Détail de la mise en œuvre

Il existe plusieurs techniques qui vont permettre d'atteindre le but de la mesure, et elles sont à adapter à chacune des situations. Pour obtenir les détails techniques de chacun des dispositifs possibles et de la démarche globale de gestion des risques d'érosions et de pollution, on se référera à l'ouvrage de Mc Donald et al. (2018).

Il est important d'anticiper largement à l'avance les risques de départ de fines et les risques de pollutions (pollution par hydrocarbure, saut de pH en particulier), de manière à ne pas être obligé d'agir dans l'urgence et de risquer d'augmenter la mortalité des poissons-hôtes et des Mulettes.

Localisation

La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'emprise des travaux.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être adaptée à la nature des travaux et à leur extension spatiale.

Pertinence de la mesure

C'est une mesure d'ordre général dont les détails techniques, et surtout leur mise en œuvre, permettront d'éviter et/ou de réduire sensiblement la dégradation de l'habitat des Mulettes (quel que soit le stade) et de leurs poissons-hôtes (habitat compris). Cette mesure peut être suivie dans le temps de mesure de création de ripisylve, de bandes tampons et de création de frayère. Le temps de réponse est immédiat.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mesure et son efficacité sont conditionnées à la réalisation préalable d'une étude d'impact complète et approfondie de l'aire d'étude, qui permettra de préparer, phaser et adapter le chantier qui en tienne compte des points environnementaux sensibles.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de la mortalité de la Mulette épaisse à l'aval de la zone d'emprise ;
- suivi visuel de l'érosion du sol ;
- suivi du pH ;
- suivi de la MES ;
- suivi de la DBO.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau. La mesure concerne tous les projets.

Références consultables

Mc Donald et al. (2018) [<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/bonnes-pratiques-environnementales-protection-milieu-aquatiques-en-phase>].

Organisation du chantier dans le temps et dans l'espace

Fiche 11.15

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Adulte Larve Poissons-hôtes
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Éviter et/ou réduire la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ; réduire la mortalité des individus ; maintenir l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Court terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Avant les impacts du projet Phase travaux
Catégorie de la mesure	Conserver en l'état Limiter les impacts et préserver l'existant
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

La mesure consiste à concevoir un plan détaillé de l'organisation du chantier (en relation avec les travaux envisagés) dans le temps et dans l'espace dans le but d'éviter une mortalité non naturelle de Mulettes et de réduire autant que possible les impacts sur le milieu aquatique où elles se trouvent.

En termes de calendrier d'intervention, il est préconisé d'éviter la période de reproduction (fin avril à août) de la Mulette épaisse pour limiter :

- l'avortement prématuré des femelles gravides ;
- la fuite des poissons-hôtes qui ne permettrait pas la fixation des larves émises dans le cours d'eau.

Point à étudier

La situation topographique et le sens des écoulements des eaux de ruissellement, ainsi que la configuration du paysage sont des points essentiels à étudier avant le lancement de la phase travaux.

Détail de la mise en œuvre

Chaque chantier et chaque projet présentent une configuration qui leur est propre. Ainsi, pour obtenir les détails techniques de la démarche globale de l'organisation d'un chantier pour éviter et réduire les impacts environnementaux sur le milieu aquatique, on se référera à l'ouvrage de Mc Donald et al. (2018).

À ce stade, en particulier, les points techniques à mettre en œuvre seront :

- produire un document de planification environnemental des travaux (fiche technique Anticiper n°1 p 27 de Mc Donald et al. 2018) ;
- réaliser un schéma d'installation environnementale du chantier (fiche technique Anticiper n°2 p 30 de Mc Donald et al. 2018) ;
- concevoir un phasage du chantier et un planning (fiche technique Anticiper n°3 p 34 de Mc Donald et al. 2018).

Localisation

La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'emprise des travaux.

Ampleur de la mesure

La mesure doit être adaptée à la nature des travaux et à leur extension spatiale.

Pertinence de la mesure

C'est une mesure d'ordre général dont les détails techniques, et surtout leur mise en œuvre, permettront d'éviter et/ou de réduire sensiblement la dégradation de l'habitat des Mulettes (quel que soit le stade) et de leurs poissons-hôtes (habitat compris).
Le temps de réponse est immédiat.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La mesure et son efficacité sont conditionnées à la réalisation préalable d'une étude d'impact complète et approfondie de l'aire d'étude, qui permettra de préparer, phaser et adapter le chantier qui en tienne compte des points environnementaux sensibles.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de chantier par un ingénieur écologue.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.
La mesure concerne tous les projets.

Références consultables

Mc Donald et al. (2018) [<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/bonnes-pratiques-environnementales-protection-milieu-aquatique-en-phase>].

Franchissement de cours d'eau par des techniques en sous-œuvre

Fiche 11.16

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Adulte Larve Poissons-hôtes
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Éviter et/ou réduire la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ; éviter la mortalité directe ; maintenir l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Court terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase travaux
Catégorie de la mesure	Conservatoire en l'état Limiter les impacts et préserver l'existant
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure	<p>Pour la construction de conduites, tels les gazoducs ou oléoducs par exemple, le tracé peut rencontrer des situations de franchissement de cours d'eau où la Mulette épaisse est présente. Si le franchissement supérieur du cours d'eau n'est pas possible, il est recommandé de le franchir en souterrain. La mesure consiste donc mettre en œuvre des techniques de franchissement souterrain de conduites (quelle que soit la nature des conduites), lorsqu'elles abordent des cours d'eau à Mulettes. Ce sont des techniques onéreuses, mais qui permettent au pétitionnaire de s'acquitter d'un certain nombre de mesures connexes liées à la Mulette épaisse (pêche de sauvetage entre autres). Ainsi, cette mesure peut être considérée comme un évitement aux conditions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> que le forage n'induit pas de vibration du substrat (dérangement des espèces protégées ou patrimoniales) ; qu'elle concerne tous les cours d'eau traversés.
--------------------------------------	---

Point à étudier	Il est nécessaire d'avoir un état initial apportant des éléments précis et rigoureux sur la répartition, l'abondance et la fonctionnalité de la population de Mulettes de la zone d'étude, pour que le porteur de projet puisse évaluer l'innocuité de cette mesure.
------------------------	--

Détail de la mise en œuvre	<p>Le porteur de projet doit s'entourer de structures professionnelles spécialisées dans la conduite et le dimensionnement de techniques de forage en sous-œuvre pour le franchissement de cours d'eau. Le forage doit être suffisamment profond pour éviter la pollution de l'eau interstitielle du sédiment.</p> <p>En phase de mise en œuvre, la présence d'un ingénieur écologue est indispensable.</p>
-----------------------------------	---

Localisation	La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'emprise.
---------------------	--

Ampleur de la mesure	Sans objet.
-----------------------------	-------------

Pertinence de la mesure

Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des risques importants d'altération pour la population de Mulettes concernée, qui remettrait en cause son existence dans la section de cours d'eau ou la zone d'étude considérée.

La mesure suivante peut être associée :

- organisation du chantier dans le temps et dans l'espace

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Si le forage en sous oeuvre induit des vibrations, il existe un risque de dérangement des Mulettes. Il peut prendre la forme d'une mise en mouvement des individus (observé par exemple dans le cas du chantier de construction de la ligne LGV Tours-Bordeaux). Dans le pire des cas, il peut un avoir déchaussage des individus. Si l'impact du forage est avéré, un déplacement de tous les individus de Mulette est nécessaire sur une zone correspondant au moins à 50 m à l'amont et 50 m à l'aval du tracé du forage.

Modalité de suivi envisageable

- suivi de chantier par un ingénieur écologue ;
- suivi de la mortalité des Mulettes ;
- suivi du comportement des Mulettes pendant la phase de travaux (si pas de pêches de sauvetage) ;
- suivi des individus déplacés.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau
La mesure concerne tous les projets

Adapter les matériaux en cas de blocage transversal temporaire du cours d'eau

Fiche 11.17

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée

Adulte
Larve
Poissons-hôtes

Objectif de la mesure

- Réduire la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ;
- éviter la mortalité directe ;
- maintenir l'espèce

Durée de la mise en œuvre

Court terme

Moment de la mise en œuvre de la mesure

Phase travaux

Catégorie de la mesure

Limitier les impacts et préserver l'existant

Famille de la mesure

Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure

Dans l'organisation du chantier, il peut arriver que tout ou partie du cours d'eau soit amené à être bloqué. Par exemple, ce cas de figure peut se rencontrer pour accéder à une zone de travaux non accessible depuis l'autre rive ou pour éviter des détours de fait d'absence d'ouvrage d'art suffisamment adaptés pour supporter le poids des engins. La mesure consiste à proposer des lignes directrices permettant la mise en œuvre des techniques de franchissement avec des matériaux adaptés pour éviter des dépôts de fines ou tout autre type de pollution. Cette mesure doit néanmoins faire l'objet d'une évaluation de sa mise en œuvre en fonction du contexte propre au cours d'eau.

Point à étudier

Il est nécessaire d'avoir un état initial apportant des éléments précis et rigoureux sur la répartition, l'abondance et la fonctionnalité de la population de Mulettes de la zone d'étude.

Il est nécessaire également d'avoir un plan de chantier et un phasage précis dans le temps et dans l'espace.

Détail de la mise en œuvre

Quel que soit l'objet du blocage, il est recommandé de ne pas faire usage de terre de chantier, pour éviter les dépôts de fines. Il est recommandé d'utiliser :

- des matériaux à base de gravats de gros diamètre (supérieur à 10 cm) qui seront déposés sur le lit du cours d'eau (associé à un passage busé permettant l'écoulement des eaux), en cas de blocage transversal pour le passage d'engins,.
- il est aussi possible d'utiliser des matériaux conditionnés au préalable afin d'éviter leur départ dans le cours d'eau. Des batardeaux, par exemple, peuvent être réalisés grâce à une succession de «big bag». Quoi qu'il en soit, en cas de blocage transversal, il sera nécessaire d'assurer un débit minimum équivalent (cf. mesure relative au débit minimum).

Ce dispositif sera temporaire, devra être retiré en fin de chantier avec une remise en état et devra être disposé dans la zone d'emprise des travaux (où auront eu lieu des pêches de sauvetage).

En phase de mise en œuvre, la présence d'un ingénieur écologue est indispensable.

Localisation

La mesure est à déployer sur l'intégralité de la zone d'emprise.

Ampleur de la mesure

Sans objet.

Pertinence de la mesure

Cette mesure évite le départ de fine pour limiter la charge en matière en suspension dans l'eau, sans compter les risques de pollution de l'eau du chantier. Un ralentissement de l'écoulement est prévisible à l'amont de la zone de franchissement, mais le caractère temporaire et non opposant à l'écoulement limitera les impacts sur la rivière.

La mesure suivante peut être associée :

- Organisation du chantier dans le temps et dans l'espace.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La condition de mise en œuvre de cette mesure repose sur le déplacement préalable des individus de Mulettes présentes dans la zone d'emprise, de la période du chantier (en étiage du cours d'eau) et de la temporalité du chantier (durée dans le temps).

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de chantier par un ingénieur écologue ;
- Suivi des individus déplacés ;
- Suivi du taux de matière en suspension ;
- Suivi du débit du cours d'eau.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.

La mesure concerne tous les projets.

Adaptation de la configuration des ouvrages d'arts pour franchir les cours d'eau

Fiche 11.18

Période du cycle de vie de la Mulette concernée	Adulte Larve Poissons-hôtes
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Éviter et/ou réduire la ou les dégradations du lit mineur du cours d'eau ; éviter la mortalité directe ; maintenir l'espèce.
Durée de la mise en œuvre	Moyen - long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Avant les impacts du projet Phase travaux En phase d'exploitation
Catégorie de la mesure	Conserver en l'état Limiter les impacts et préserver l'existant
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure La mesure consiste à adapter la configuration des ouvrages d'art de franchissement des cours d'eau à Mulettes pour éviter ou réduire les impacts de l'ouvrage en phase de chantier et de fonctionnement. En fonction de la largeur du cours d'eau à franchir, les contraintes de génie civil impliquent parfois que des piliers de soutènement soient installés dans le lit mineur de la rivière ou du fleuve. A court terme, ces piliers, *ex nihilo*, de soutènement peuvent induire des effets négatifs sur les peuplements de mulettes et en particulier la Mulette épaisse, sur le lieu même de l'installation des piliers ou par la modification de la courantologie à l'aval de celui ou ceux-ci.

Point à étudier La courantologie à l'aval des ouvrages d'art franchissant les cours d'eau est parfois modélisée pour étudier l'évolution des flux liminaires lors de l'installation d'obstacle à écoulement. Sur cette base, il est possible de mettre en lien les effets de la modification des flux avec les localisations et les abondances de Mulettes qui se trouvent à l'amont et à l'avant de ces structures portantes. Pour cela, il est nécessaire d'avoir un état initial apportant des éléments précis et rigoureux sur la répartition, l'abondance et la fonctionnalité de la population de Mulettes de la zone d'étude. Il est nécessaire également de relier ces données aux éléments de courantologie acquis avant les travaux. Ainsi, l'ensemble de ces données doivent être étudiées au travers de simulations de modification de courant en phase d'exploitation de l'ouvrage (aussi bien à l'amont qu'à l'aval) pour apprécier les effets sur les peuplements de Mulettes en place.

Détail de la mise en œuvre Les caractéristiques de la configuration de l'ouvrage d'art (forme du tablier, portée de la bande de roulement, nombre de piliers, formes de ceux-ci, etc.) devront tenir compte des résultats des simulations réalisées. Dans le cas d'impacts avérés du fait d'une modification de la courantologie telle que les noyaux de Mulettes risquent d'être disloqués, les ajustements consisteront à modifier l'emplacement des supports jusqu'à la disparition totale des impacts si nécessaire. S'il n'y a pas de réduction possible de impacts, alors la réalisation de pêches de sauvetage sera nécessaire.

Localisation La totalité de la zone d'étude du projet.

Ampleur de la mesure Sans objet.

Pertinence de la mesure

Cette mesure est d'autant plus pertinente que le cours d'eau ne permet pas un franchissement sans support en lit mineur. Elle évitera ou limitera l'altération de surfaces de substrat colonisées par les Mulettes. Les simulations permettront de dimensionner les surfaces où d'autres mesures seront déployées.

La mesure suivante peut être associée :

- Organisation du chantier dans le temps et dans l'espace.

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

La condition de mise en œuvre de cette mesure repose l'acquisition de données de qualité, à la fois sur le plan statistique que surfacique.

Modalité de suivi envisageable

- Suivi de la recolonisation des Mulettes ;
- suivi du comportement des Mulettes dans le temps.

Autres

La mesure concerne tous les projets concernant la construction d'un ouvrage d'art.

Effacement / arasement de seuils pour rétablir la continuité écologique et sédimentaire

Fiche 11.19

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Reproduction et poissons-hôtes Stade larvaire
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Favoriser la colonisation de l'espèce
Durée de la mise en œuvre	Moyen - long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/fonctionnement
Catégorie de la mesure	Améliorer la qualité de l'habitat
Famille de la mesure	Technique et géographique
Descriptif	
Caractéristiques de la mesure	Il s'agit d'offrir la possibilité de reconquête de nouveaux tronçons de cours d'eau pour les Mulettes, en particulier la Mulette épaisse, en effaçant ou en arasant des seuils qui font obstacle à la continuité écologique et/ou sédimentaire.
Point à étudier	<p>Au préalable :</p> <ul style="list-style-type: none"> une évaluation de l'état physique du cours d'eau pour déterminer sa fonctionnalité pour l'accueil et la reproduction des poissons-hôtes ; une analyse des données historiques concernant la présence de Mulettes à l'amont dudit ouvrage, en l'occurrence la Mulette épaisse.
Détail de la mise en œuvre	Les modalités de la mise en œuvre sont les mêmes que celles qui prévaut pour tout démantèlements d'ouvrage dans le cadre de la restauration de la continuité écologique des cours d'eau.
Localisation	La mesure peut être déployée à l'amont de la zone de travaux.
Ampleur de la mesure	La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes.
Pertinence de la mesure	
<p>Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des preuves de la présence historique de la Mulette épaisse sur le tronçon amont de cours d'eau contraint par l'ouvrage, mais avec des habitats <i>a priori</i> favorables. Les Mulettes, d'une manière générale, tireront bénéfice de cette mesure, par la possibilité de coloniser de nouvelles sections de cours qui ne pouvaient l'être du fait du caractère infranchissable de l'ouvrage pour les poissons-hôtes.</p> <p>Cependant, une évaluation précise de l'efficacité de la mesure sur les poissons-hôtes est à mener, ainsi que la colonisation par les Mulettes des parties situées à l'amont.</p> <p>Le temps de réponse n'est pas connu, mais il peut être subodoré à 5-10 ans.</p> <p>La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> mettre en défens les berges ; assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ; franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles ; création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantations). 	
Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance	
<p>Dans un idéal, il serait souhaitable que la Mulette épaisse ne soit pas dans la zone d'emprise et la zone d'influence du seuil, pour éviter des dossiers réglementaires la concernant. Cependant, cela peut être une mesure compensatoire d'un dossier plus conséquent pour lequel il y a déjà des dérogations.</p>	
Modalité de suivi envisageable	
<ul style="list-style-type: none"> Le suivi des densités de poissons par les techniques de suivi d'usage ; le suivi de la (re-)colonisation des Mulettes et de leurs densités. 	
Autres	
<p>La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau.</p> <p>La mesure concerne tous les projets.</p>	

Recharge sédimentaire

Fiche 11.20

Période du cycle de vie de la Mulette épaisse concernée	Reproduction et poissons-hôtes Stade larvaire
Objectif de la mesure	<ul style="list-style-type: none"> Favoriser la colonisation de l'espèce
Durée de la mise en œuvre	Moyen - long terme
Moment de la mise en œuvre de la mesure	Phase d'exploitation/fonctionnement
Catégorie de la mesure	Améliorer la qualité de l'habitat
Famille de la mesure	Technique et géographique

Descriptif

Caractéristiques de la mesure	Il s'agit d'offrir la possibilité de reconquête de nouveaux tronçons de cours d'eau pour les Mulettes, en particulier la Mulette épaisse, lorsque les tronçons concernés sont en déficit sédimentaire.
Point à étudier	Au préalable, il est nécessaire de mener une évaluation de la présence de Mulettes, en particulier la Mulette épaisse, dans les tronçons ou sections de cours d'eau cibles. La présence de la Mulette épaisse sur la zone de recharge est rédhibitoire (cf. infra), sauf si les Mulettes épaisses de la zone en question ont été déplacées et qu'il n'y a plus d'individus. La granulométrie doit également être étudiée pour qu'elle soit adaptée à la puissance du cours d'eau.
Détail de la mise en œuvre	Les détails techniques de la mesure doivent tenir compte de cette évaluation et l'appui de structures spécialisées dans la recharge sédimentaire est indispensable. Les fédérations départementales de pêche et/ou bureaux d'études spécialisés peuvent être consultés pour déterminer la faisabilité de la mesure.
Localisation	La mesure peut être déployée indifféremment à l'amont et/ou à l'aval de la zone de travaux, à la condition que la Mulette épaisse soit absente de la section de cours d'eau destinée à être rechargée ou bien qu'elle y ait été retirée.
Ampleur de la mesure	La mesure doit être proportionnée à l'impact produit sur l'habitat des Mulettes.

Pertinence de la mesure

Cette mesure est d'autant plus pertinente qu'il existe des preuves de la présence historique de la Mulette épaisse sur le tronçon concerné et qu'il existe un déficit sédimentaire. Les Mulettes, d'une manière générale, tireront bénéfice de cette mesure, par la possibilité de coloniser de nouvelles sections de cours qui ne pouvaient l'être du fait de l'absence de sédiment idoine.

Cependant, une évaluation précise de l'efficacité de la mesure sur la colonisation par les Mulettes des parties rechargées est recommandée.

Le temps de réponse de l'espèce n'est pas connu, mais il peut être subodoré équivalent au temps de génération de la Mulette épaisse (pour vérifier la présence de juvéniles) soit entre 2 à 5 ans.

La mesure peut être couplée avec l'une ou les autres des mesures suivantes :

- mettre en défens les berges ;
- assurer l'abreuvement des animaux d'élevage ;
- franchissement de cours d'eau pour animaux et/ou engins agricoles ;
- création d'une zone de bande végétalisée (avec ou sans plantations).

Condition de la mise en œuvre/limites/points de vigilance

Il est impératif que la Mulette épaisse ne soit pas dans la zone de rechargement, sauf si elle a été préalablement déplacée.

Modalité de suivi envisageable

- Le suivi de la (re-)colonisation des Mulettes et de leurs densités.

Autres

La mesure est adaptée aux restaurations de cours d'eau
La mesure concerne tout type de projet.

Références consultables

Adam, P., Debiais, N. & Malavoi, J.-R. 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau. Agence de l'eau Seine-Normandie. 63 p
Onema, 2010. Le recueil d'expériences sur l'hydromorphologie. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/217>
Malavoi, J.-R. & Bravard, J.-P. 2010. Eléments d'hydromorphologie fluviale. Onema/Université de Lyon. 224 p

Pour la bonne gouvernance du projet, plusieurs suivis doivent être observés :

- Les suivis relatifs à l'application effective des mesures figurant dans l'arrêté d'autorisation des travaux, ce suivi doit être réalisé par une structure et/ou une personne compétente et être construit en fonction des thématiques des mesures ;
- le suivi de l'efficacité des mesures (RC) sur la Mulette épaisse, et notamment l'évaluation de l'efficacité des pêches de sauvetage (voir fiche 12.1) ;
- le suivi de l'impact du projet sur la Mulette épaisse (qui est une évaluation plus globale que le point précédent) (voir fiche 12.2).



Figure 36 : *Unio crassus* prête à bondir sur sa proie (crédit photo : Vincent Prié, rivière Dobra, Croatie).

Fiche 12.1 : Suivi des individus déplacés ●●●

• Principe du suivi

Le protocole de suivi des moules déplacées s'inspire des protocoles déjà existant en Amérique du Nord pour le suivi du rétablissement des moules déplacées (Dunn 1993, Dunn & Sietman 1997, Cope *et al.* 2003). Le principe du protocole de Cope *et al.* (2003) repose sur le suivi d'une fraction d'individus déplacés marqués comparés à une fraction d'individus résidents marqués également. Le suivi s'opère dans des quadrats ou des rectangles divisés en cellule d'un mètre sur un mètre. Les carrés peuvent être de 3 x 3 m ou 5 x 5 m. Les rectangles peuvent être de 5 x 15 m.

• En pratique

Le tronçon de cours d'eau récepteur des individus déplacés sera d'une longueur comprise entre le sous-faciès et le faciès (entre 10 et 20 fois la largeur à plein bord), de manière à être dans une cohérence écologique et biologique. Ce tronçon de réception pourra donc avoir une longueur comprise entre 25 et 50 m pour un cours d'eau de taille moyenne (entre 4 et 8 m de large). Celui-ci a fait l'objet d'une sélection préalable dans le cadre de la mesure de pêche de sauvetage, c'est-à-dire estimation de la densité des individus et caractérisation de la fonctionnalité.

Avant le déplacement, il s'agira de disposer les placettes de suivi et de réaliser l'état initial des individus résidents dans ces placettes. La dimension des placettes n'est pas imposée, elle est à adapter en fonction de la dimension du cours d'eau. Il est recommandé de ne pas surdimensionner la taille des placettes et rester dans des placettes qui puissent être facilement suivies dans le temps. Lorsque les dimensions vont au-delà de 3 x 3 m, il existe de possibles biais de suivi. Il est recommandé de disposer plusieurs placettes dans le tronçon de réception (minimum 3, maximum 5), espacées au moins de deux mètres. Ces placettes seront ensuite divisées en cellule d'un mètre ou de 0.5 x 0.5 m.

Les placettes seront disposées aléatoirement dans le tronçon de réception. Le choix d'effectuer des réplicats permettra d'avoir des réponses aux tests statistiques lors des suivis ultérieurs. Les spécimens résidant dans la placette seront comptés et marqués individuellement lors de l'état initial des placettes, et replacés dans leur cellule d'origine. Lors du déplacement, une fraction des individus déplacés sera marquée individuellement et sera placée dans les cellules, de telle manière à ce que la densité des spécimens résidents marqués soit au maximum doublée (Dunn *et al.* 2000). Les individus résidents marqués, ainsi que la fraction d'individus marqués déplacés, seront mesurés et pesés. Le marquage individuel est indispensable pour l'exploitation des données futures. Il peut être fait par la réalisation d'une gravure sur le périostracum à l'aide d'une foreuse portative (figure 32) ou par la pose de petits PIT Tag collés à l'aide de colle à base de cyanoacrylate (Ashton *et al.* 2017 ; Newton *et al.* 2020). Il est recommandé de matérialiser les angles des placettes à l'aide de pieux totalement enfoncés dans le substrat de la rivière. Les pieux seront marqués de PIT Tag permettant de les retrouver avec un détecteur.

Les variables mesurées seront les suivantes :

- Le taux de reprise : nombre de moules marquées (mortes ou vivantes) trouvée dans une cellule comparée au nombre de moules placées dans la cellule. Cette variable est un ratio.
- Le mouvement : nombre de moules marquées retrouvées vivantes en dehors de leur cellule initiale par rapport au nombre total de moules marquées vivantes. Cette variable est un ratio.
- La mortalité des individus marqués : coquilles marquées retrouvées / (individus marqués vivants + coquilles marquées retrouvées). Cette variable est un ratio.
- La mortalité des individus résidents non marqués : individus non marqués morts récemment / (individus non marqué morts récemment + individus non marqués vivants). Cette variable est un ratio.
- La croissance : taille prise en mm entre l'étape de déplacement et le suivi.

Le nombre d'individus suivis dépendra des densités mesurées dans la ou les zones de réception. Dunn *et al.* (2000) rapportent qu'entre 1 % et 50 % des individus déplacés sont suivis dans les grilles de suivi. On considérera que la fraction des individus qui sera marquée et suivie sera représentative de l'ensemble des individus qui seront déplacés.

Il est recommandé d'effectuer un suivi un mois après le déplacement, ensuite une fois tous les ans pendant quatre ans, soit 5 années de suivis en tout. Les différences seront testées à l'aide d'ANOVA à mesures répétées.

Mode opératoire synthétique

- 1 Définition, caractérisation de la zone de réception et des densités de Mulette épaisse sur la totalité de celle-ci par un protocole d'échantillonnage approprié ;
- 2 sélection aléatoire dans la zone de réception des placettes de suivi ;
- 3 marquage individuel, mesure et pesée des spécimens résidents dans les placettes, qui seront remis dans leur cellule d'origine ;
- 4 sélection aléatoire des spécimens déplacés à suivre, marquage individuel, mesure et pesée de ceux-ci ;
- 5 placement des spécimens dans les grilles, en respectant la règle d'or de ne pas doubler la densité actuelle ;
- 6 suivi un mois après pour le contrôle, sans mesure ni comptage. Ce contrôle sert à vérifier si les moules filtrent correctement et si les marquages des quadrats de suivi ne sont pas obstrués par des débris ;
- 7 suivi annuel pendant cinq ans après le déplacement comprenant les mesures des variables.

Fiche 12.2 : Suivis ou études expérimentales-témoin avant-après

• Objectif global

L'objectif global de ces suivis est d'apprécier les effets des mesures mises en œuvre dans le cadre du projet et/ou d'évaluer les effets du projet dans sa globalité sur la Mulette épaisse.

• Principe général

Quel que soit l'objet suivi, le mode opératoire est identique et ces suivis rentrent dans la famille des études expérimentales-témoin avant-après (BACI, Before After Control Impact, en anglo-américain). Les principes généraux de ces études expérimentales sont précisément détaillés dans Downes et al. (2008).

Le principe général repose sur la disposition de stations/sites situés sous l'effet des mesures/projets, comparativement à des stations/sites comparables ou similaires situés dans des endroits de cours d'eau non soumis aux effets des mesures/projets. Il est nécessaire d'avoir une réplication spatiale et temporelle de manière à dissocier les variations naturelles des variations générées par les effets des mesures. En pratique, il est recommandé d'avoir :

- au moins deux à trois réplifications temporelles avant la mesure des effets (il s'agit d'un M-BACI, pour Multiple répliquats temporels-BACI) ;
- au moins cinq réplifications spatiales pour la conduite de l'étude expérimentale.

• Exemple d'application

L'exemple suivant détaille une démarche qui a été entreprise pour évaluer les impacts d'un projet de restauration hydromorphologique d'un cours d'eau sur la Mulette épaisse. La démarche peut être appliquée et adaptée pour étudier les effets de mesures quelconques.

Dans le cadre de cette étude expérimentale, la variable étudiée est le nombre de moyen de mulettes par quadrat dans des tronçons de cours d'eau correspondant au sous-faciès ou au faciès. L'hypothèse est que l'impact des travaux se traduise par une diminution du nombre moyen de mulettes par quadrat dans les stations étudiées à l'aval des travaux. Dans un autre cas de figure, il peut s'agir de détecter une variation de 10, 20 ou 30 % de l'effectif de l'espèce par exemple.

Pour cela, deux catégories de sites sont désignées :

- le premier site (site 1) est le site de contrôle/témoin, situé à l'amont des zones de travaux. Ce site de contrôle ne doit pas connaître de modifications pendant la période de suivi ;
- le second site (site 2) correspond à l'appréciation de l'impact des travaux, situé à l'aval desdits travaux ;
- un troisième site est suggéré dans la zone d'emprise de travaux pour suivre la colonisation ou la dynamique des individus en place au regard des deux autres sites.

Dans chacun de ces sites, il est décidé de placer cinq stations. Une station (couvrant un faciès ou un sous faciès) est définie ici, par exemple, comme un tronçon de cours d'eau de 25 m de long. Dans chacun des sites, les stations sont espacées les unes des autres d'au moins 100 m pour éviter toutes contagions entre stations, puisque c'est la distance maximale actuellement connue de déplacement (passif) de la Mulette épaisse (Zajac et al. 2019).

Dans chacune des stations de chaque site, les mulettes épaisses sont recherchées dans un certain nombre de quadrats de 50 x 50 cm systématiquement espacés les uns des autres. L'espacement entre chaque quadrat dépend (i) du nombre de quadrats ; (ii) de la surface de l'aire d'étude. On se référera au manuel d'échantillonnage pour le détail des formules (Smith & Strayer 2003 ; Thompson 2002). Nous recommandons un effort minimal de 40 quadrats par station, pour respecter les règles d'application de calcul des variables (moyenne, variance et intervalle de confiance) pour un échantillonnage systématique.

Les recherches sont effectuées de l'aval de la station vers l'amont, en démarrant soit en rive droite, soit en rive gauche. Dans chaque quadrat, les spécimens visibles depuis la surface du sédiment sont recherchés à l'aquascope puis retirés. Lorsque la luminosité est faible, les spécimens sont recherchés avec une torche de plongée. Ensuite, la surface du quadrat est excavée sur environ 10 cm. Le produit de l'excavation est tamisé sur un tamis de 5 mm de vide de maille, pour collecter les spécimens enfouis dans le sédiment.

L'environnement de chaque station est noté, ainsi que les éventuels facteurs qui pourraient avoir une influence sur l'abondance des mulettes en dehors des travaux (piétinement, prédation, drains, etc.). Il est recommandé de matérialiser les départs et les fins des stations de suivi. Trois passages avec excavation sont effectués avant les travaux, dans des conditions hydrologiques adéquates, puis un passage (ou deux) après la réalisation des travaux.

La mise en œuvre d'un M-BACI s'apparente à la mise en œuvre d'une analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs, qui sont : les sites (sites de contrôle et sites soumis à impact), la période (avant/après travaux) et l'abondance de l'espèce mesurée sur les sites et leurs interactions respectives.

Étant donné que les données d'abondance ne suivent pas une loi Normale, pour satisfaire aux critères d'application des analyses de variances, le nombre moyen de mulettes par quadrat sera transformé à l'aide du logarithme népérien (Ln). Les analyses porteront donc sur ces données transformées.

Cette fiche ne concerne que les projets propres à la restauration écologique.

La **restauration écologique** est définie comme le processus qui assiste la régénération d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit (Addy *et al.* 2016). Ce processus repose sur :

- La réalisation d'un **diagnostic** écologique mettant en évidence les menaces pesant sur l'écosystème (pollutions, EEE, surexploitation des ressources...) et les altérations de l'écosystème (conditions abiotiques, composition spécifique, diversité des habitats, structure de la végétation, réseaux trophiques, recrutement, continuités écologiques...) en s'appuyant autant que possible sur des **références** historiques, spatiales ou des connaissances locales.
- La formulation d'**objectifs** clairs et argumentés sur la suppression des menaces pesant sur l'écosystème et la restauration de l'ensemble des altérations mises en évidence dans le diagnostic et sur les références historiques, spatiales ou les connaissances locales.
- La mise en œuvre de mesures appropriées pour atteindre ces objectifs.
- La mise en œuvre d'un suivi permettant d'évaluer l'atteinte des objectifs si possible.

En France, les opérations de **restauration de l'hydromorphologie** des cours d'eau sont de plus en plus pratiquées. En effet, une hydromorphologie non ou peu altérée est un support pour la faune, flore du cours d'eau. Ces opérations visent à restaurer :

- Les processus physiques naturels (dynamique des écoulements, continuités écologiques longitudinale, verticale et latérale, et du transport des sédiments) ;
- Les formes (granulométrie, forme en plan de la rivière) ;
- Les habitats physiques (aquatiques, rivulaires, plaine d'inondation).

Les opérations de restauration de l'hydromorphologie les plus couramment pratiquées sont les reméandrages, les suppressions d'ouvrages transversaux, les suppressions de contraintes latérales, le contournement de plans d'eau, la remise dans le talweg, la reconstitution du matelas alluvial. Ces types d'opérations peuvent être combinés entre eux.

Le chemin le plus sûr vers la récupération est d'assister les processus naturels. La restauration doit tendre vers la récupération la plus complète possible. Lorsque celle-ci n'est pas possible (menace/pression persistante, prise en compte d'un usage, écosystème à restaurer trop endommagé...), on parle plutôt de réhabilitation. Dans tous les cas, l'étape de diagnostic est cruciale, afin de formuler des objectifs écologiques pertinents et partagés, prenant en compte le contexte et les projets du territoire.

De par leurs objectifs, les travaux de restauration écologique ne sont donc pas comparables aux projets d'aménagement et de modification du milieu actuel pour des intérêts humains. Les effets de ces projets induisent des altérations à court et long terme sur les milieux ; sont concernés par cette catégorie, les barrages, franchissements de cours d'eau, détournements, etc. Cependant, ces projets de restauration font appel aux mêmes moyens logistiques que les projets d'aménagement (engins de chantiers, tels que les pelles mécaniques, camions, etc.) et ont les mêmes impacts en phase travaux (mise en assec, production de MES, écrasement, etc.). En conséquence, si un projet de restauration est mal conçu (dimensionnement, objectifs, mise en œuvre), il peut avoir *in fine* les mêmes impacts qu'un projet d'aménagement classique. Les projets hybrides qui proposeraient à la fois de la restauration et des aménagements ne rentrent pas dans ce cas de figure.

► Pour plus d'informations sur les projets de restauration des cours d'eau, nous recommandons la consultation de www.coursdeau.fr.

• Analyse des mesures de la séquence ERC dans le cadre d'une restauration de cours d'eau

E : L'évitement peut correspondre au choix du secteur à restaurer (pourquoi choisir tel ou tel tronçon ?). Le choix du tronçon à restaurer doit donc être justifié par le pétitionnaire. Il est donc important que l'état initial s'intéresse à la répartition de la Mulette épaisse à une échelle dépassant le cadre strict des travaux envisagés. Cette analyse de l'état initial devient indispensable à l'échelle du bassin versant dès lors que plusieurs projets de restauration sont envisagés.

R : La réalisation des travaux implique des moyens et méthodes ayant des impacts négatifs sur les milieux. Le pétitionnaire doit donc mettre en œuvre le maximum de mesures de réduction. A ce stade, il n'y a pas de différences entre un projet d'aménagement classique et un projet de restauration. Comme mesure de réduction à mettre en œuvre, on peut citer, par exemple, la réalisation de pêche de sauvetage avec le déplacement d'individus hors de l'emprise chantier.

Une fois les mesures de réduction appliquées, le pétitionnaire doit évaluer les impacts résiduels (voir fiche impact résiduel) de son projet. Un déplacement d'individus peut, par exemple, induire des impacts résiduels si le nombre d'individus déplacés est en dessous du seuil d'acceptabilité (voir fiche déplacement).

Ces impacts résiduels doivent être compensés.

C : Lorsque le projet de renaturation est correctement pensé et conçu, on peut considérer que la compensation est incluse dans le projet lui-même, moyennant la justification par le pétitionnaire que son projet sera favorable à la conservation de la Mulette épaisse (sur le moyen/long terme). Cela devra se traduire par l'apport de réels bénéfices pour le milieu et, par conséquent, l'espèce (individus et/ou poissons-hôtes). Si, après évaluation, le projet est jugé défavorable pour la Mulette, c'est-à-dire que la nature du projet ne compense pas les effets néfastes des travaux, alors des mesures compensatoires devront être mises en œuvre (voir fiches mesures). Ce sera le cas si le projet n'est pas assez ambitieux ou mal dimensionné, ou qu'il occulte dès le départ la problématique de la Mulette épaisse, ou encore si l'intensité et la durée des travaux sont plus néfastes que les bienfaits du projet.

Il convient toutefois de s'assurer au préalable de la capacité de l'espèce à recoloniser le milieu restauré, donc apporter des éléments sur la répartition de l'espèce et sa viabilité à l'échelle du bassin-versant dans l'analyse de l'état initial.

S : Dans tous les cas, il est préconisé de réaliser *a minima* un suivi des mesures de réduction (par exemple le déplacement d'individus). En cas d'incertitude quant au bénéfice du projet pour l'espèce entre plus-value du projet et impacts résiduels, un suivi de la population globale du site et de la recolonisation du tronçon restauré devra être mis en œuvre. En plus d'un contrôle du projet, ces suivis serviront de retours d'expérience pour les projets à venir.

Les exemples suivants sont inspirés de cas réellement rencontrés.

» Cas de la restauration de cours d'eau : Reméandrage, remise dans le talweg

• Etat initial

Dans ce cas de figure, on suppose un cours d'eau rectifié, par le passé, que le pétitionnaire souhaite reméandrer (figure 37A) que le pétitionnaire souhaite reméandrer (figure 37B). Cela signifie qu'un nouveau lit va être créé et que des parties du lit actuel vont être rebouchées. L'état initial s'intéressera à la répartition de l'espèce et à la densité des populations à une échelle plus large (à l'amont, dans le tronçon, et à l'aval). Il devra, si possible, être réalisé à l'aide de méthodes permettant d'assurer le suivi futur du projet (voir fiches suivi).

• Définition du projet

Il résulte de l'état initial que le projet aura des impacts non négligeables sur la population de mulettes. Le secteur qui sera rebouché présente des densités relativement importantes. Les densités les plus importantes, situées à l'amont, seront épargnées. A l'aval une population plus faible subira les effets indirects des travaux. A ce stade du projet, le pétitionnaire doit s'assurer que les impacts sur la population centrale ne peuvent être évités (lieu incontournable de la restauration, présence d'un ancien méandre).

Si le projet ne peut être modifié et les impacts évités, alors le pétitionnaire doit déployer des mesures de réduction des impacts : déplacement de la population centrale vers l'amont (zone viable et fonctionnelle non soumise aux effets directs et indirects des travaux), assurer une circulation d'eau continue entre les noyaux amont et aval, abattre les MES pendant les travaux et lors de la remise en eau du tronçon restauré, ...

Une fois les mesures de réduction déterminées, le pétitionnaire doit évaluer les impacts résiduels de son projet, ainsi que les bénéfices. Si les bénéfices du projet (à moyen - long terme) compensent les impacts résiduels, alors les mesures compensatoires ne sont pas obligatoires. Dans le cas contraire, le pétitionnaire proposera des mesures compensatoires proportionnelles aux impacts résiduels.

Fiche 13 Le cas particulier de la restauration écologique

Figure 37A

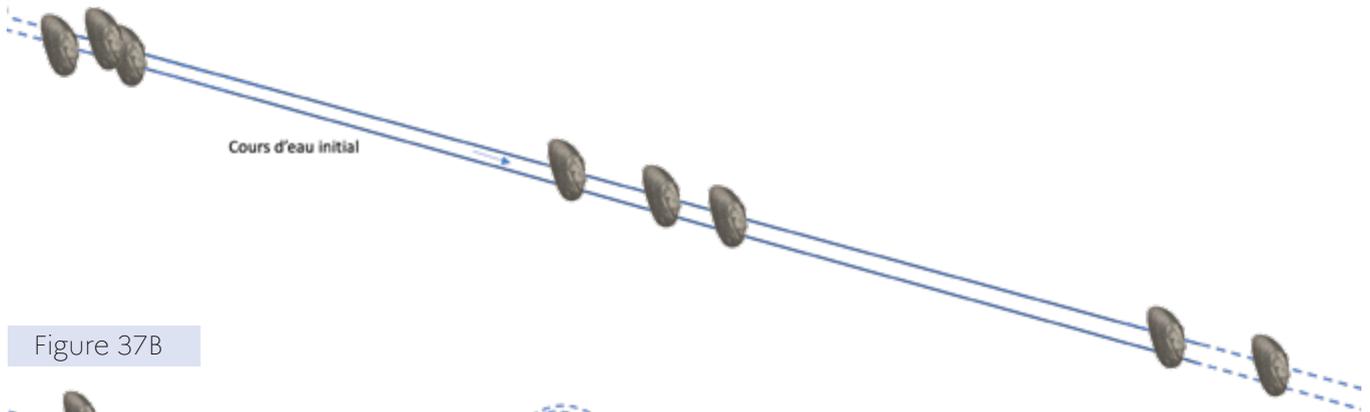


Figure 37B

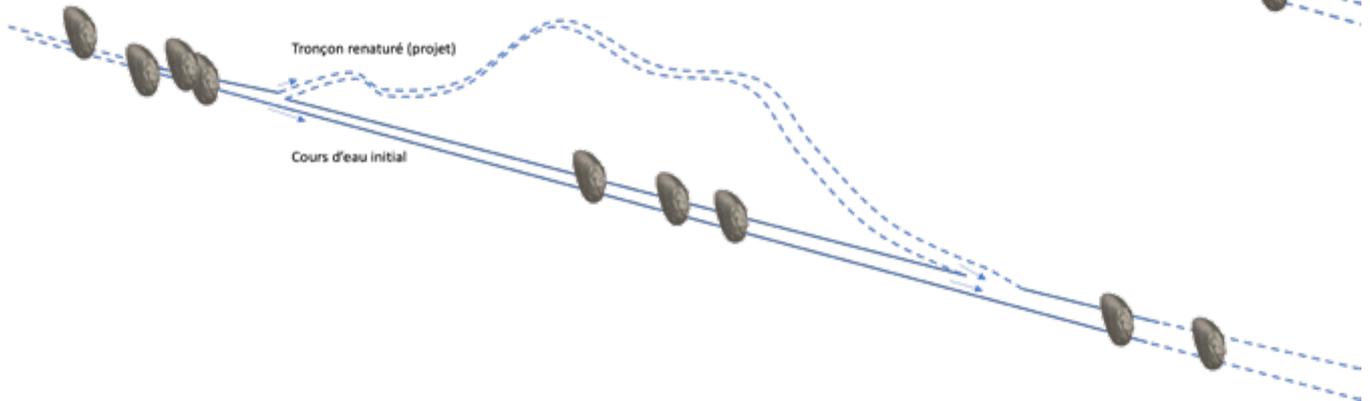


Figure 37C

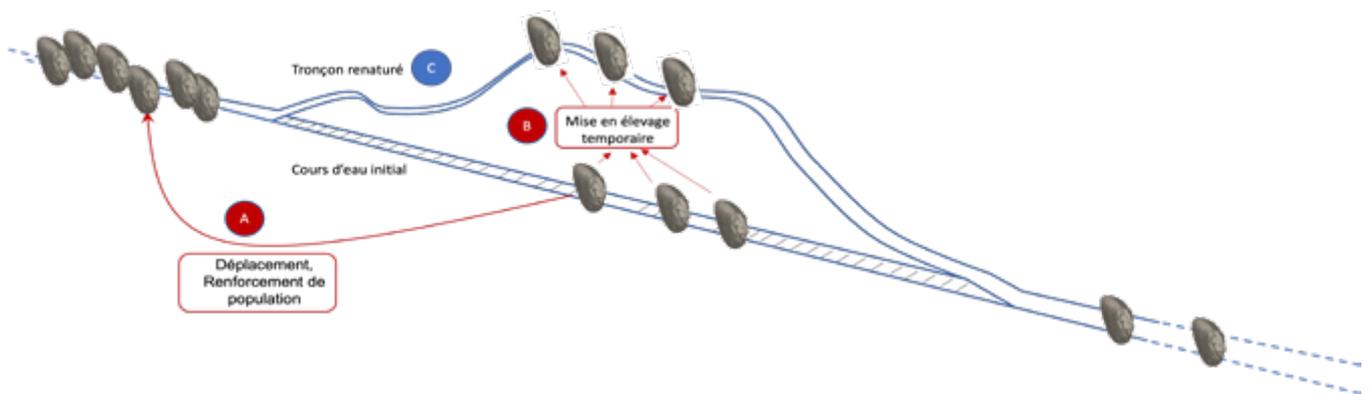
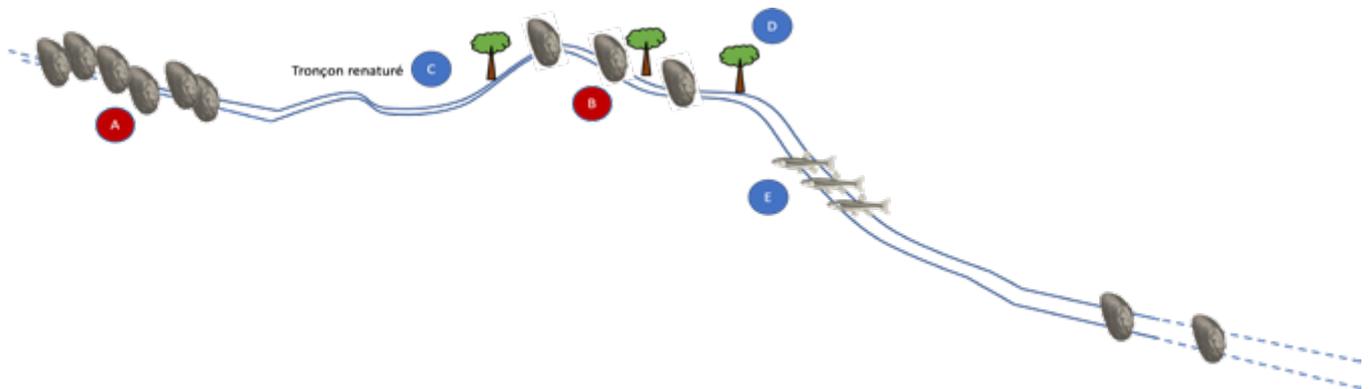


Figure 37D



• Phase travaux

Le pétitionnaire réalise les aménagements et les mesures de réduction telles qu'elles ont été validées dans le dossier. Il a une obligation de résultats et non de moyen pour l'ensemble des mesures de réduction. Il rend compte à l'administration de tout imprévu et des résultats des mesures mises en œuvre.

• Suivi

Le pétitionnaire met en place un suivi pour s'assurer que les différentes mesures et/ou que le projet global ont bien eu les résultats escomptés.

- Suivi des individus déplacés (s'assurer de l'absence de mortalité liée à l'opération de déplacement) ;
- suivi de la population à l'aval (s'assurer que les effets indirects n'ont pas entraîné de mortalité supérieure à la mortalité naturelle) ;
- suivi du nouveau lit mis en eau (s'assurer de la recolonisation par l'espèce ; attention, le suivi est à effectuer sur le moyen-long terme (cf. Biologie de l'espèce). ;
- Suivi du projet (s'assurer que le projet a un impact positif sur la population).

.....

» Exemples de renaturation de cours d'eau : suppression de seuils

• Etat initial

Lors de l'état initial, la Mulette épaisse a été détectée sur la totalité de l'aire d'étude, c'est à dire à l'aval de l'ouvrage, dans le remous liquide et à l'amont de celui-ci. Les densités à l'amont de la zone d'influence du remous et à l'aval de l'ouvrage sont cependant plus élevées que dans le remous en lui-même (figure 38A).

• Définition du projet

De l'analyse des impacts du projet, il en résulte une mortalité directe des individus dans le remous liquide et de ceux situés juste à l'aval de l'ouvrage. Un impact indirect est possible pour les individus à l'aval de la zone d'emprise, tandis que les individus situés en dehors de la zone d'influence du remous seront épargnés des impacts. La mortalité dans la zone de remous surviendra par l'abaissement de la ligne d'eau et de la reprise de pente. Les individus situés juste à l'aval de l'ouvrage seront tués par les engins de chantier lors du démantèlement des matériaux de l'ouvrage (figure 38B).

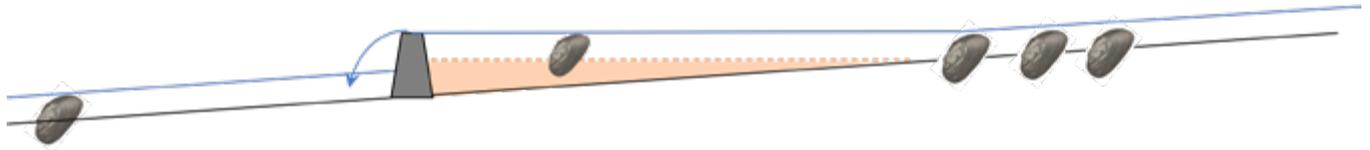


Figure 38A



Figure 38B

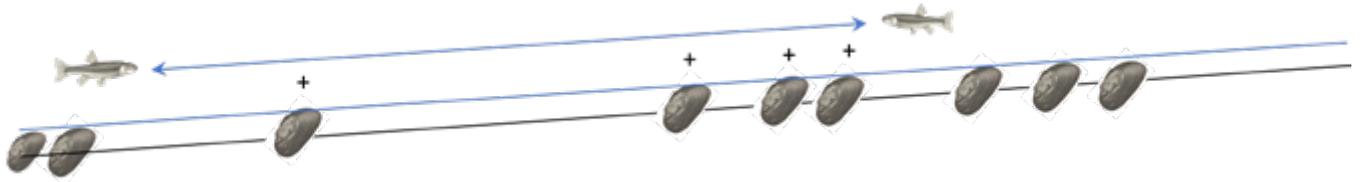


Figure 38C

Si le projet ne peut être modifié et les impacts évités, alors le pétitionnaire doit déployer des mesures de réduction des impacts : déplacement de la population centrale vers l'amont (zone viable et fonctionnelle non soumise aux effets directs et indirects des travaux), assurer une circulation d'eau continue entre les noyaux amont et aval, abattre les MES pendant les travaux et lors de la remise en eau du tronçon restauré, ...

Une fois les mesures de réduction déterminées, le pétitionnaire devra évaluer les impacts résiduels de son projet, ainsi que les bénéfices. Si les bénéfices du projet (à moyen - long terme) compensent les impacts résiduels, alors les mesures compensatoires ne sont pas obligatoires. Dans le cas contraire, le pétitionnaire proposera des mesures compensatoires proportionnelles aux impacts résiduels.

• Phase travaux

Le pétitionnaire réalise les aménagements et les mesures de réduction telles qu'elles ont été validées dans le dossier. Il a une obligation de résultats et non de moyens pour l'ensemble des mesures de réduction. Il rend compte à l'administration de tout imprévu et des résultats des mesures mises en œuvre.

• Suivi

Le pétitionnaire met en place un suivi pour s'assurer que les différentes mesures et/ou que le projet global ont bien eu les résultats escomptés.

- Suivi des individus déplacés (s'assurer de l'absence de mortalité lié à l'opération de déplacement) ;
- suivi de la population à l'aval (s'assurer que les effets indirects n'ont pas entraîné de mortalité supérieure à la mortalité naturelle) ;
- suivi du tronçon correspondant au remous liquide antérieur (s'assurer de la recolonisation par l'espèce, attention le suivi est à effectuer sur le moyen-long terme cf. Biologie de l'espèce) ;
- suivi du projet (s'assurer que le projet a un impact positif sur la population).

» Cas de figures atypiques

On observe parfois des populations importantes de Mulette épaisse dans des cours d'eau fortement altérés par les activités humaines (fig. 33). Elle a donc une capacité de recolonisation qui peut être importante et peut survivre à des aménagements même relativement lourds si les conditions lui sont favorables.

Comme pour les autres projets de restauration, l'étude devra analyser les pertes et gains pour l'espèce. Elle devra nuancer les pertes en prenant en compte les améliorations attendues en terme d'habitat et les capacités de survie et de recolonisation plus rapide.



Figure 40 : Exemple de cours d'eau fortement impactés par les activités humaines et néanmoins favorables à la Mulette épaisse. A : la Venelle près de Dijon, où une population fonctionnelle de plusieurs centaines d'individus a été découverte suite au franchissement d'une conduite de gaz (vue du ciel Géoportail) ; B : l'Hozain près de Troyes (© L. Philippe, Biotope) ; C : le ruisseau des Aulnes près de Toul, sujet d'un projet de renaturation porté par le CEN Lorraine.

ANNEXE I

Biologie et écologie de la Mulette épaisse

GÉNÉRALITÉS

La Mulette épaisse est un animal benthique filtreur strictement dulçaquicole (elle ne peut pas survivre hors de l'eau). Elle possède deux ouvertures, inhalante et exhalante, l'inhalante étant pourvue de papilles sensibles. L'eau environnante est absorbée de manière active (ou passive quand le courant est suffisant) et filtrée par les deux paires de « branchies » appelées cténidies. Ces cténidies jouent à la fois un rôle dans la nutrition, en filtrant les particules présentes dans l'eau et en les acheminant vers la bouche, dans la respiration à l'instar des branchies des poissons, et dans la reproduction puisque deux d'entre elles vont recueillir les œufs.

La Mulette épaisse est mobile dans le substrat, mais cette mobilité est toute relative puisqu'elle n'est pas capable de fuir ou de quitter rapidement son lieu de vie lorsque ses conditions de maintien ne lui conviennent plus. Elle ne nage pas en pleine eau et se déplace dans et à la surface du substrat. Pour se déplacer, elle s'aide de son pied ancré dans le substrat. Il semble que les déplacements soient plus fréquents chez cette espèce que chez d'autres, mais se limitent tout de même à quelques dizaines de mètres tout au plus (Zajac *et al.* 2019). Le mobile des déplacements peut être lié à l'éjection des larves (voir ci-dessous), mais le plus souvent il s'agit simplement de trouver des conditions environnementales optimales suite à un dérangement (p. ex. après une crue). Elles sont aussi capables d'effectuer des mouvements verticaux dans le substrat de plusieurs dizaines de centimètres (Philippe & Patry, com. pers.).

Les conditions optimales recherchées par la Mulette épaisse sont généralement les berges, à relativement faible profondeur (Zajac *et al.* 2019). Comme la plupart des espèces de Naiades, elles évitent le lit vif où le transport sédimentaire est le plus important et les crues les plus fortes (Strayer 1999).

CYCLE BIOLOGIQUE

Chez la Mulette épaisse, les sexes sont séparés avec un sex-ratio à peu près équilibré. La maturité est atteinte au bout de 2 à 4 ans.

La reproduction débute au printemps et se poursuit jusqu'au milieu de l'été (Bauer 2001). Les dates de début et de fin de frai ne sont pas connues avec précision en France, seuls les éléments indiqués par Bauer (2001) provenant de l'Est de l'Europe sont disponibles. Les observations que nous avons réalisées et les témoignages recueillis concordent avec une période de reproduction s'étendant de fin avril à mi-juillet en France. Les oocytes sont nichés dans le marsupium, situé dans la demi-branche externe des cténidies de la femelle. Le mâle libère ses spermatozoïdes directement dans la colonne d'eau et les femelles les absorbent par filtration (figure 41). La fécondation a lieu dans le marsupium (Zajac & Zajac 2020).

L'œuf fertilisé produit une larve appelée glochidie, dotée de deux petites valves, pourvues de crochets recouverts de petites dents sur la bordure ventrale et d'un filament mobile. Les glochidies de la Mulette épaisse mesurent environ 220 x 195 µm (Engel 1990 ; Hochwald 1997). Une femelle peut produire entre 9 000 et 100 000 glochidies (Bauer 2000).

Elles sont expulsées par la femelle, mélangées à un mucus de trois manières :

- soit de manière passive et le mucus tombe sur le lit de la rivière où il pourra attirer des poissons comme source de nourriture,
- d'eau, entouré d'un mucus attirant les poissons qui l'ingèrent,
- soit de manière active : la femelle se déplace jusqu'à la berge, l'ouverture exhalante affleurant à la surface de l'eau, et expulse violemment le mucus et les glochidies sur une distance d'un mètre environ. La chute du mucus sur la surface de l'eau attirera alors les poissons se nourrissant en surface.

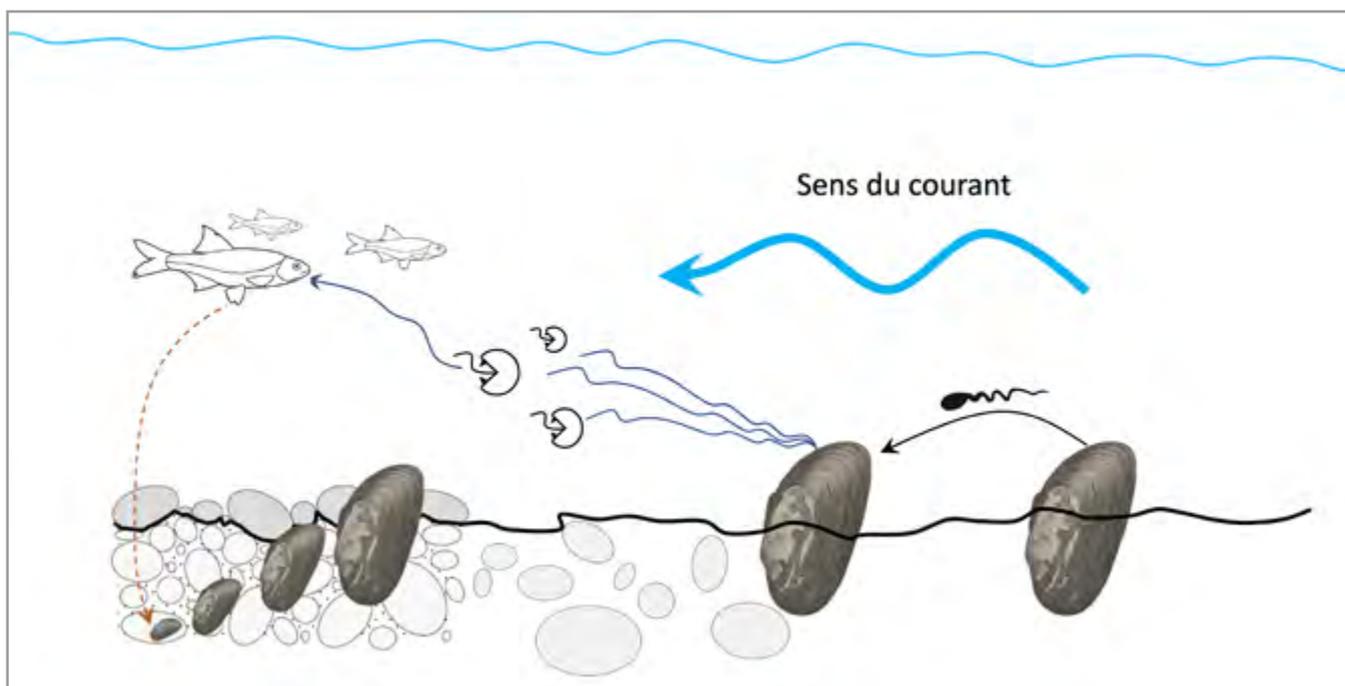


Figure 40 : schéma du cycle de la Mulette épaisse. L'adulte mâle libère ses spermatozoïdes dans la colonne d'eau, qui seront absorbé au gré du courant par une femelle située à l'aval. Après fécondation puis maturation des œufs dans le marsupium de la femelle, des larves -appelées glochidies- éclosent et sont libérées dans la colonne d'eau. Elles ne disposent que quelques heures pour s'enkyster dans les branchies d'un poisson-hôte (voir liste des poissons-hôtes p.95). Au bout d'environ un mois, les larves se sont métamorphosées en jeunes moules qui vont quitter leur hôte et poursuivre leur croissance dans le sous-écoulement du cours d'eau, là où elles seront tombées.

Dans les trois cas, la stratégie vise à favoriser le contact entre les glochidies et le poisson-hôte. En effet, les glochidies ne survivent que quelques heures dans l'eau et doivent entrer au plus vite en contact avec les branchies des poissons-hôtes (elles peuvent également se fixer sur les nageoires). Il peut y avoir jusqu'à trois libérations de glochidies au cours de la saison de reproduction (Hochwald 2001 ; Zajac & Zajac 2020). *A contrario*, certaines femelles peuvent suspendre la reproduction pendant une année (Hochwald 1988).

La Mulette épaisse utilise un large éventail de poissons-hôtes, avec 16 espèces connues pour héberger les glochidies et produire des juvéniles viables (tableau 1). Toutefois, les expérimentations menées par différents auteurs montrent que tous les poissons-hôtes potentiels n'ont pas le même succès pour la maturation des glochidies. Ainsi, les hôtes principaux seraient le Vairon commun, le Rotengle et le Chabot pour Douda *et al.* (2012), auxquels Taeubert *et al.* (2012b) ajoutent le Hotu et le Chevaine. Ces derniers suggèrent que chez certaines espèces (dont le Chabot) les résultats varient en fonction de la lignée génétique (tableau 1).

La présence et l'abondance des poissons-hôtes, en particulier des hôtes principaux, sont primordiales pour le succès du recrutement des populations de Mulettes épaisses.

Le temps d'enkystement des glochidies est très variable et dépend de la température, de l'espèce de poisson-hôte. Elle est généralement exprimée en degré-jours (ex. 10 jours à 10 °C = 100 degrés-jours). Mais elle est également variable sur le même poisson-hôte élevé à la même température : Taubert *et al.* (2012b) ont observé les premières jeunes mulettes au bout de 28 jours chez le Vairon à 14°C, les dernières au bout de 52 jours. En conditions d'élevage en routine, l'essentiel des jeunes mulettes sont produites au bout de trois semaine à un mois à 15°C (F. Thielen communication personnelle). La mortalité des glochidies pendant la période d'enkystement est également variable selon l'espèce de poisson-hôte, elle semble osciller entre 50 et 90 % (Taeubert *et al.* 2012b). La température idéale pour la métamorphose serait de 17° (Taeubert *et al.* 2014). Le stade parasite sur les poissons-hôtes est le plus mobile, puisqu'il permet aux larves de se déplacer à grande distance dans la rivière, de coloniser de nouveaux secteurs et d'assurer le brassage génétique.

CROISSANCE

À l'issue de la phase d'enkystement, la jeune mulette tombe des branchies du poisson-hôte sur le lit de la rivière, où elle s'enfonce dans le substrat pour commencer sa croissance. Elle mesure alors 0,2 mm de long. Les juvéniles vivent enfoncés jusqu'à 10 cm dans le sédiment (Tudorancea & Gruia 1968, Cucherat, observations personnelles) pendant au moins 3 – 4 ans.

D'après les observations réalisées en ferme d'élevage au Luxembourg (F. Thielen communication personnelle), à température ambiante, mais maintenue à plus de 10°C en hiver les 12 premiers mois, la croissance des jeunes mulettes se déroule comme suit :

2 mois	1 - 1,5 mm
12 mois	5 - 10 mm
24 mois	20 - 25 mm
36 mois	25 - 33 mm

Dunca (2014, étude sur trois rivières du Luxembourg et de Belgique) observe les rapports âge – taille suivants (figure 41ww) :

3 ans	23 - 27 mm
4 ans	23 - 34 mm
5 ans	30 - 37 mm
6 ans	36 - 45 mm
7 ans	39 - 42 mm
8 ans	43 mm
9 ans	45 - 51 mm
10 ans	49 - 57 mm
11 - 15 ans	50 - 62 mm
16 - 20 ans	58 - 66 mm
20 - 30 ans	60 - 72 mm

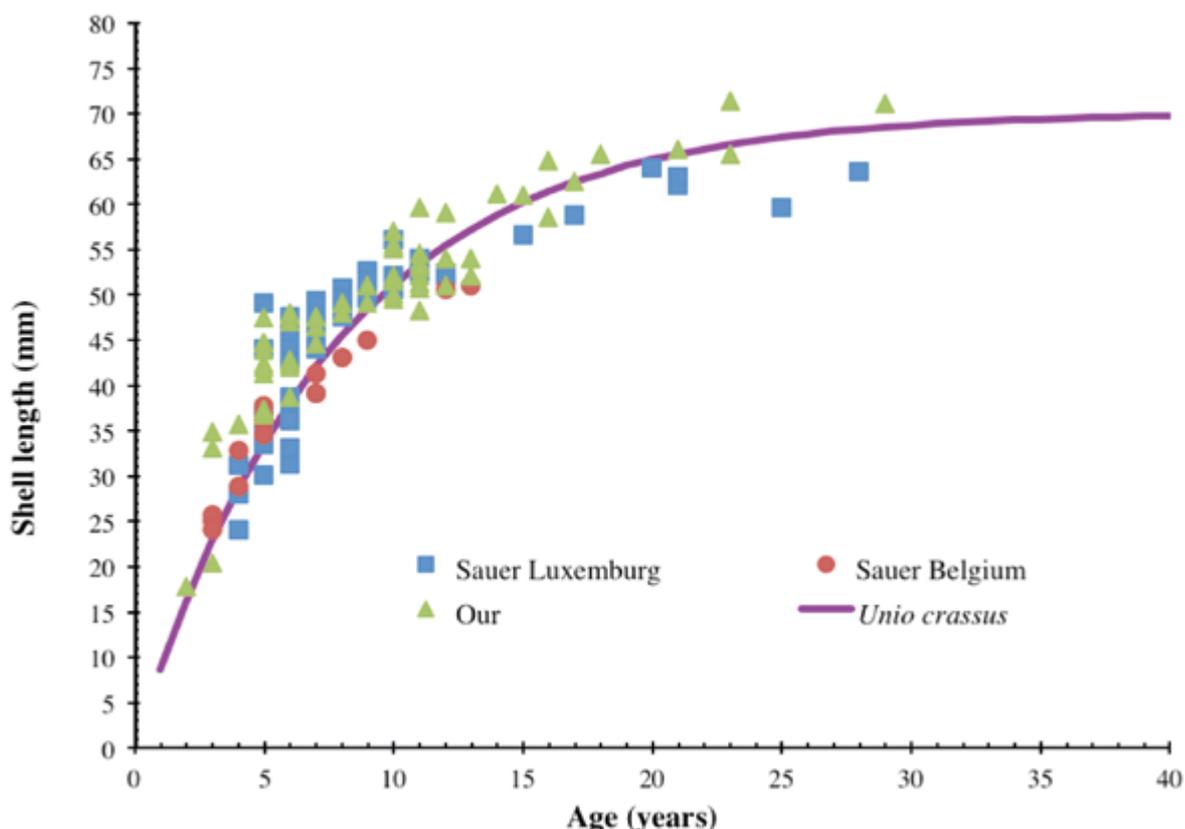


Figure 41 : Courbe de croissance de la Mulette épaisse sur trois rivières du Luxembourg et de Belgique (d'après Dunca 2014).

Tableau 1 : Liste des espèces de poisson-hôtes étudiées pour la Mulette épaisse. En gras les poisson-hôtes principaux.

Espèce	Nom latin	Douda et al. 2012	Taeubert et al. 2012a
Vairon commun	<i>Phoxinus phoxinus</i>	1	1
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	1	1
Chabot commun	<i>Cottus gobio</i>	1	1-2
Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i>	2	1
Chevaine commun	<i>Squalius cephalus</i>	2	1
Épinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>		1-2
Ide mélanote	<i>Leuciscus idus</i>		1-2
Perche fluviatile	<i>Perca fluviatilis</i>	0	1-2
Spirilin	<i>Alburnoide bipunctatus</i>		2
Able de Heckel	<i>Leucaspis delineatus</i>	2	
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	2	0
Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	2	
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	2	0
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	2	
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	2	
Truite commune	<i>Salmo trutta</i>	2	2
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	2	
Vimbe	<i>Vimba vimba</i>	2	
Épinochette *	<i>Pungitius pungitius</i>		
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	0	
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	0	
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	0	
Grémille	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	0	
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	0	
Sterlet	<i>Acipenser ruthenus</i>	0	0
Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>	0	0
Silure glane	<i>Silurus glanis</i>	0	
Anguille européenne	<i>Anguilla anguilla</i>	0	
Amour blanc	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	0	0
Omble de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>		
Gobie à taches noires	<i>Neogobios melanostomus</i>		0

1 : hôte principal

2 : hôte secondaire

0 : échec de l'infestation

* espèce testée par Engel et Watchler (1989) avec succès pour l'infestation mais de production de juvénile.

STRUCTURE DES POPULATIONS DE LA MULETTE ÉPAISSE

• Mode de distribution

Le mode de distribution est agrégatif (Tudoranea & Gruia 1968, Cucherat, observations personnelles). Cela signifie que l'espèce forme des agrégats plus ou moins grands et importants en termes d'individus, séparé par des espaces de plus faibles densités ou sans individus. Ainsi, Tudoranea & Gruia (1968) décrivent des taches de plusieurs dizaines d'individus séparés des autres dans un mètre carré dans la rivière Nera. Par ailleurs, ils rapportent que les densités la Mulette épaisse sont plus importantes dans les zones de courant faible. De plus, le nombre d'individus diminue depuis les berges vers le centre de la rivière où le courant est le plus fort.

En France, Mouthon (1994) estime que la densité de la Mulette épaisse dans les cours d'eau français est inférieure à un individu par mètre carré, avec un maximum observé de 43 individus par mètre carré et un écart-type de 2 individus. Dans ce travail, 447 stations ont été échantillonnées sur l'ensemble des bassins hydrographiques français parmi lesquelles 43 hébergeaient la Mulette épaisse, avec une méthode (épuiette) non adaptée à l'estimation des densités de l'espèce. Dans quelques cours d'eau du Grand Est, Lamand & Beisel (2014) indiquent une densité moyenne de 6,36 ind.m⁻² (valeurs comprises entre 0,44 et 66 ind.m⁻², respectivement dans l'Halbmühlbach et l'Esch).

Enfin, la Mulette épaisse présente une forte proportion d'individus non-visibles depuis la surface du sédiment. Lamand & Beisel (2014a) montrent que seulement 10 % des individus sont visibles depuis la surface, suggérant l'usage de l'excavation pour obtenir une estimation correcte des effectifs sur une aire d'étude donnée.

► Niveau mondial

Les effectifs mondiaux de la Mulette épaisse ne sont pas connus. Une étude effectuée dans deux cours d'eau finlandais a montré que l'effectif de la Mulette épaisse s'élevait à trois millions d'individus (Valovirta 2007, 2008), tandis que Zettler & Jueg (2007) estiment que l'effectif de population allemande est de l'ordre de 1,5 millions d'individus.

La durée de vie de l'animal est inversement proportionnelle au taux de croissance, autrement dit, les populations qui croissent vite vivent moins longtemps que celles qui croissent plus lentement. Cela serait dû à des différences de métabolismes entre population (Hochwald 2001).

En Allemagne, Zettler & Jueg (2007) montrent que les populations germaniques sont vieillissantes, avec une dominance des classes d'âge correspondant à des classes de tailles comprises entre 40 et 60 mm. Ils rapportent, après un suivi réalisé sur une période de dix années (1996-2006), que le recrutement s'est arrêté depuis l'année 2001.

► En France, région Île-de-France et Grand Est

Il n'existe pas d'estimation de la taille des populations de la Mulette épaisse à l'échelle nationale qui soit publiée, de même qu'à l'échelle régionale.

À ce jour, il n'existe pas de données publiées concernant les classes d'âges de la Mulette épaisse à l'échelle nationale. Cependant, Biodiversita (2004) rapporte que sur la base de 66 individus récoltés dans le bassin hydrographique de la Clouère, dans le département de la Vienne, 78 % de ceux-ci avaient un âge estimé à moins de six ans, suggérant que cette population se reproduit. On soulignera que l'estimation de l'âge sur la base de la longueur de la coquille est approximative. Pour éviter les comptabilisations des fausses cernes de croissance, Duncan (2014) recommande la comptabilisation des véritables cernes à partir des coupes transversales de coquille (depuis la périphérie jusqu'à la coquille embryonnaire).



ANNEXE II

Conservation, protection de la Mulette épaisse et principales menaces

CONSERVATION

» Monde

Au niveau mondial, la Mulette épaisse est considérée comme une espèce en danger (EN A2ce) (Lopes-Lima *et al.* 2014).

» France

L'évaluation de l'état de conservation des espèces de la Directive Habitat en France indiquait en 2018 un état de conservation défavorable à mauvais.

Elle a été évaluée LC (non menacée) pour la France dans la liste rouge de 2021, bien que la tendance soit à la diminution.

» Europe

Le statut de menace de la Mulette épaisse a été récemment évalué (Cuttelod *et al.* 2011) et l'espèce est considérée comme vulnérable (VU A2ac+3ce), avec des populations en diminution.

» Grand Est et Île de France

Le statut de menace à l'échelle de la région et Île-de-France n'est pas connu. Elle est déterminante ZNIEFF en Île-de-France. Elle était considérée déterminante ZNIEFF à l'échelle des anciennes régions Alsace (où elle était considérée comme CR également) et Lorraine. Elle a été évaluée vulnérable (VU) sur la liste rouge régionale Grand Est (à paraître).

PROTECTION

» Europe

La Mulette épaisse est listée aux annexes II et IV de la Directive européenne « Faune-Flore-Habitats », ce qui implique respectivement la possibilité de désigner des sites Natura 2000 pour elle et l'obligation des états membres de la faire figurer à la liste des espèces protégées.

» France

Par transposition de la directive européenne, l'espèce est protégée en France par l'arrêté interministériel du 23 avril 2007 fixant les listes des mollusques protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection

» <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000645048/>

Ce régime de protection stricte concerne à la fois les individus et leurs habitats : l'article 2 de l'arrêté interdit notamment la destruction, la capture, le transport, la perturbation ou le commerce, ainsi que la destruction, la dégradation ou l'altération des habitats de la Mulette épaisse.

► France (suite)

L'article 2 de l'arrêté dispose que :

I. - Sont interdits sur tout le territoire métropolitain et en tout temps la destruction ou l'enlèvement des œufs, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la perturbation intentionnelle des animaux dans le milieu naturel.

II. - Sont interdites sur les parties du territoire métropolitain où l'espèce est présente ainsi que dans l'aire de déplacement naturel des noyaux de populations existants la destruction, l'altération ou la dégradation des sites de reproduction et des aires de repos des animaux. Ces interdictions s'appliquent aux éléments physiques ou biologiques réputés nécessaires à la reproduction ou au repos de l'espèce considérée, aussi longtemps qu'ils sont effectivement utilisés ou utilisables au cours des cycles successifs de reproduction ou de repos de cette espèce et pour autant que la destruction, l'altération ou la dégradation remette en cause le bon accomplissement de ces cycles biologiques.

III. - Sont interdits sur tout le territoire national et en tout temps la détention, le transport, la naturalisation, le colportage, la mise en vente, la vente ou l'achat, l'utilisation, commerciale ou non, des spécimens prélevés :

- dans le milieu naturel du territoire métropolitain de la France, après le 24 novembre 1992 ;
- dans le milieu naturel du territoire européen des autres Etats membres de l'Union européenne, après la date d'entrée en vigueur de la directive du 21 mai 1992 susvisée.

Enfin, l'arrêté du 6 janvier 2020 dispose que la protection de Mulette épaisse ne peut être dérogée qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature

► <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041491367/>

► Grand Est et Île de France

La Mulette épaisse n'a pas de statut de protection supplémentaire à l'échelle de la région Grand Est et de la région Île-de-France.

Tableau 2 : Synthèse des statuts de protection et de menace

Mondial		EN, A2ce
Européen	Annexes II et IV	VU, A2ac + 3ce
National	Article 2	LC (IUCN 2021). Etat de conservation jugé Défavorable mauvais
Régional		VU (GE à paraître) Déterminante ZNIEFF (Île-de-France, Alsace et Lorraine)

PRINCIPALES MENACES

► Pollution

Bien que l'espèce soit relativement tolérante à la pollution, elle disparaît des rivières trop polluées, sans qu'il soit possible actuellement de donner des seuils pour les différents polluants. Il n'existe pas d'études synthétiques sur la tolérance de l'espèce aux différents polluants. L'effet cocktail a probablement un impact négatif non négligeable.

► Modification du régime hydro-morphologique

Le recalibrage des cours d'eau et surtout la multiplication des seuils sont défavorables à la Mulette épaisse comme à ses poissons-hôtes.

» Prédation

La Mulette épaisse adulte avait très peu de prédateurs avant l'introduction des mammifères malacophages tels que le Ragondin ou le Rat Musqué. Aujourd'hui ces deux espèces, largement répandues dans l'aire de répartition de la Mulette épaisse, peuvent avoir un impact très important sur ses populations.

» Réchauffement climatique

La Mulette épaisse est en limite d'aire de répartition en France, elle devient très rare dans la partie sud de la France (excepté dans le Rhône qui draine des eaux alpines). Le réchauffement climatique aura donc vraisemblablement un impact négatif sur les populations les plus méridionales. D'une manière plus générale, on observe une augmentation des événements climatiques extrêmes (sécheresses et canicules) sur l'ensemble de son aire de répartition, avec parfois des mortalités importantes sur de petits cours d'eau.



ANNEXE III

Autres espèces de bivalves patrimoniaux

L'Anodonte comprimée *Pseudanodonta complanata*



► STATUT DE CONSERVATION

L'Anodonte comprimée ne bénéficie actuellement d'aucun statut réglementaire. C'est toutefois une des espèces les plus menacées en France, avec une réduction de son aire de répartition estimée à plus de 60 %, sans que les causes de raréfaction ne soient connues. La réduction de la taille de sa population est estimée à plus de 80 % en France. Sa régression est passée complètement inaperçue et il est difficile de savoir sur quel pas de temps elle s'est produite. Les causes possibles sont la dégradation de l'habitat, la pollution, et possiblement l'introduction de la Corbicule.

Le statut de conservation de l'Anodonte comprimée a été catégorisé En danger – EN B2 ab (ii, iii, v) pour la France (IUCN, 2021) et Vulnérable VU pour la région Grand Est (liste rouge régionale à paraître).

► REPARTITION

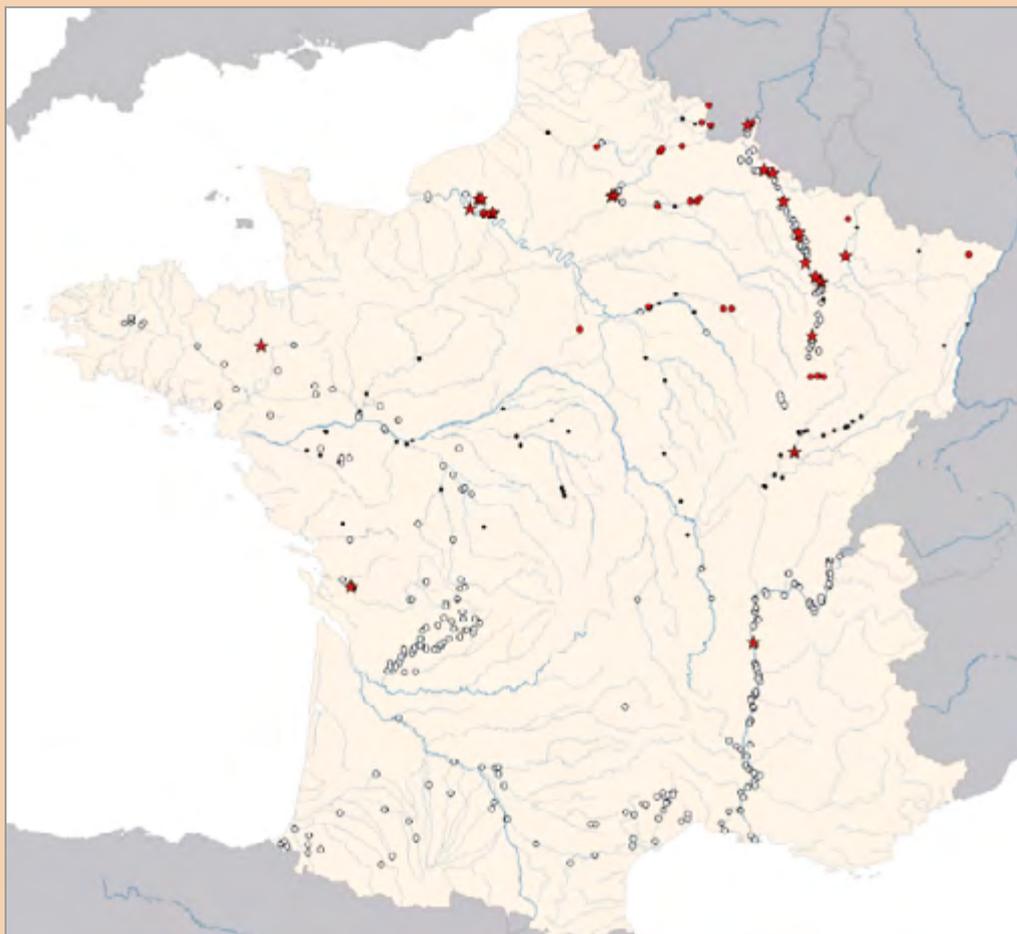


Figure 42 : L'Anodonte comprimée *Pseudanodonta complanata*. Données d'individus vivants (en rouge) et d'analyses de l'ADNe (étoiles) vs totalité des données disponibles (points noirs). Les cercles blancs figurent les sites d'échantillonnage d'ADNe où l'espèce n'a pas été détectée. L'espèce était autrefois largement répandue dans toute la France (à l'exception des zones méditerranéennes, des zones de montagne et du massif cristallin).

La Mulette des rivières

Potomida littoralis



► STATUT DE CONSERVATION

La Mulette des rivières était autrefois largement répandue dans presque toute la France. Elle a aujourd'hui quasiment disparu du bassin de la Seine et des fleuves côtiers bretons, normands et méditerranéens. Bien des données actuelles sur son aire de répartition ne concernent que des coquilles, qui se conservent très longtemps. Le déploiement des inventaires basés sur l'analyse de l'ADNe suggère qu'elle a disparu de beaucoup de cours d'eau à l'intérieur de son aire de répartition. On peut *a minima* estimer le déclin de la taille de ses populations en France à plus de 50 %. Les causes n'ont sans doute pas cessé, ne sont pas comprises et ne sont peut-être pas réversibles. C'est une espèce à très fort enjeu pour la région Grand Est.

Elle a été catégorisée En danger – EN A2 ace pour la France (IUCN, 2021) et En danger critique (CR) pour la région Grand Est (liste rouge régionale à paraître).

► REPARTITION

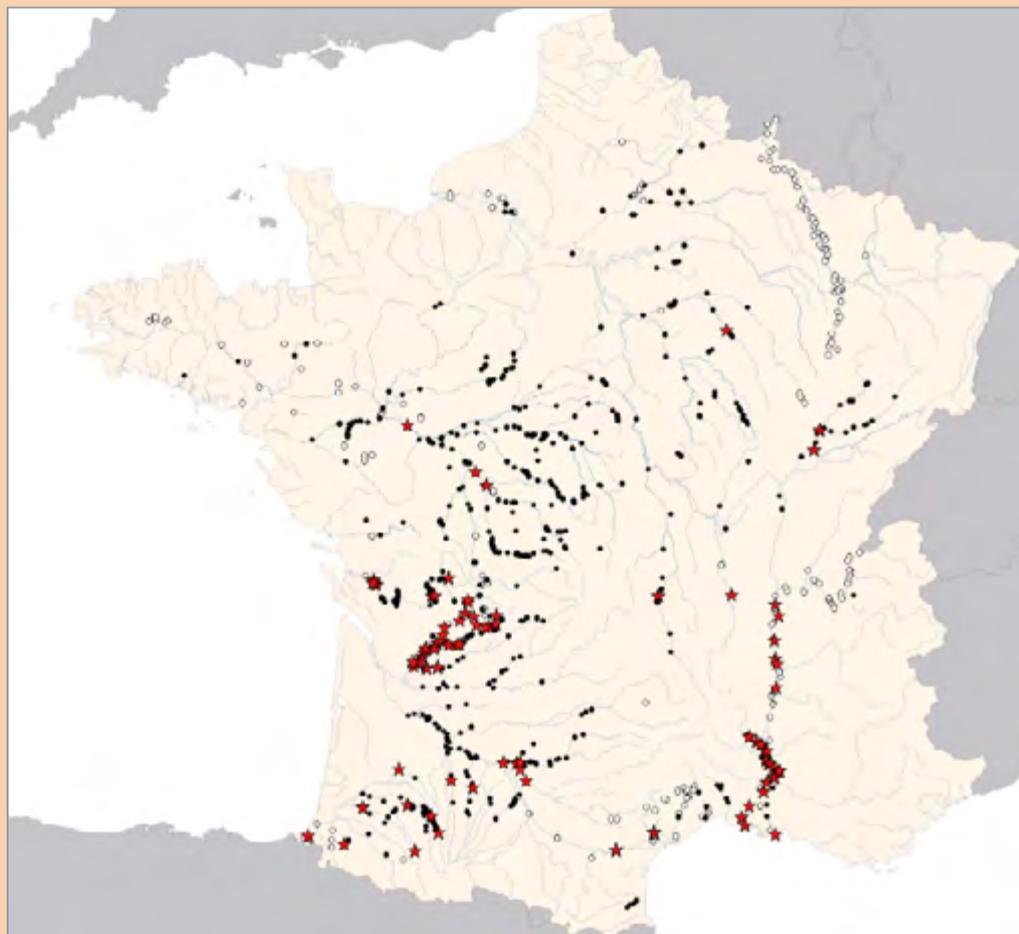


Figure 43 : la Mulette des rivières *Potomida littoralis*. Données d'absence (points blancs) et de présence (étoiles rouges) issues des analyses ADNe. Les points noirs figurent l'ensemble des données disponibles. Beaucoup de données d'absence en ADNe se situent à l'intérieure de zones historiquement occupée, ce qui suggère une diminution consécutive de l'AOO

La Cyclade des fleuves

Sphaerium solidum



» STATUT DE CONSERVATION

L'espèce possédait une aire de répartition assez large en France, qui inclue notamment les bassins-versants de la Loire, la Seine et le Rhône. Toutefois, en contactant les porteurs de données, il semble que l'espèce n'ait été vue vivante depuis 2000 que dans la Seine, à la confluence de l'Oise et de l'Aisne (Choisy-au-Bac en 2009), et à l'aval de la Seine sur deux stations (Bij de Vaat *et al.* 2007). S'ajoute une seule donnée d'ADNe (OFB 2020), dans le même secteur aval de la Seine, et tout récemment une donnée à l'aval de la Loire. La contraction de son aire de répartition en France est estimée à plus de 90 %.

Elle a été catégorisée – EN B2 ab (ii, iii, v) pour la France (IUCN 2021).

» REPARTITION

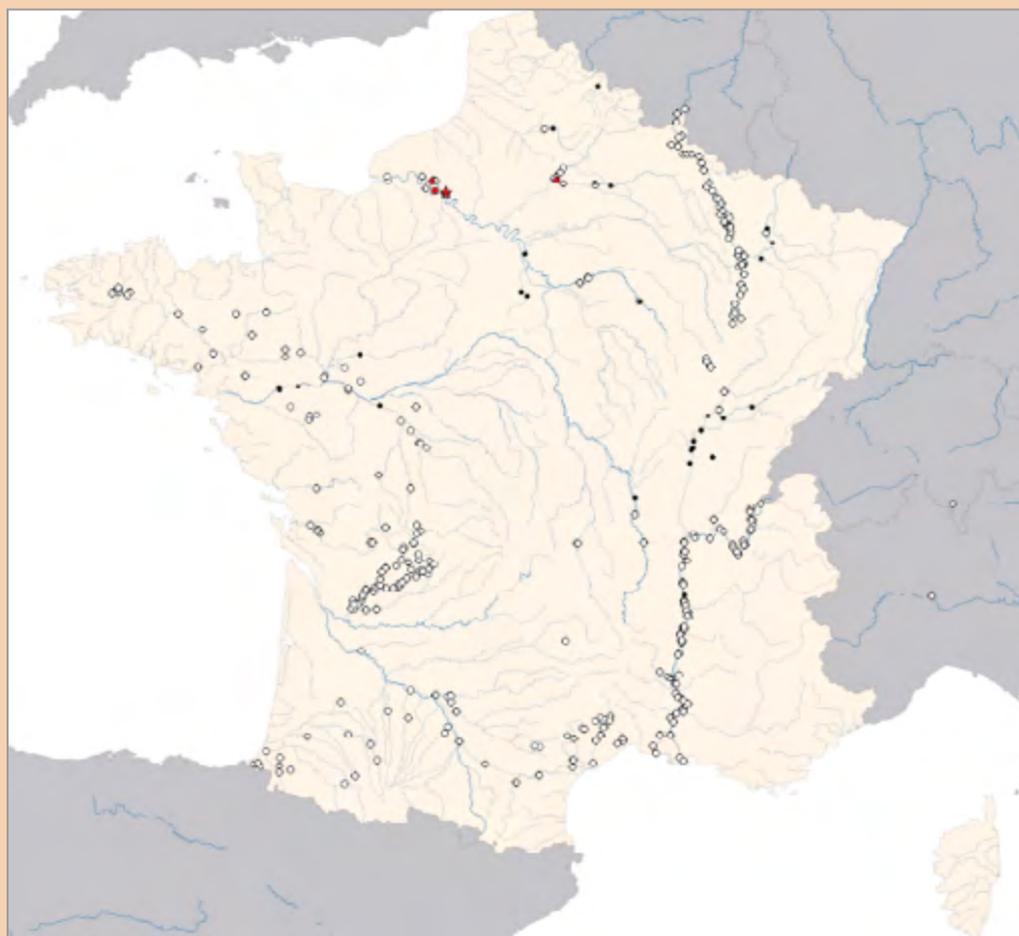


Figure 44 : Cyclade des fleuves *S. solidum*, carte de répartition passée (points noirs) et actuelle (c.a.d. les données postérieures à 2000, points rouges et étoile rouge pour l'ADNe).

La Grande Cyclade

Sphaerium rivicola



» STATUT DE CONSERVATION

Situation similaire, bien que moins dramatique, à celle de la Cyclade des fleuves. La diminution de son aire de répartition est estimée à 88 %.

La Grande Cyclade a été catégorisée – EN B2 ab (ii, iii, v) pour la France (IUCN 2021).

» REPARTITION

Germain (1931) la considère « assez commune dans la France septentrionale et moyenne, plus rare dans le midi ». Nos données, même historiques, ne reflètent donc pas l'aire de répartition historique, qui devait être beaucoup plus importante.

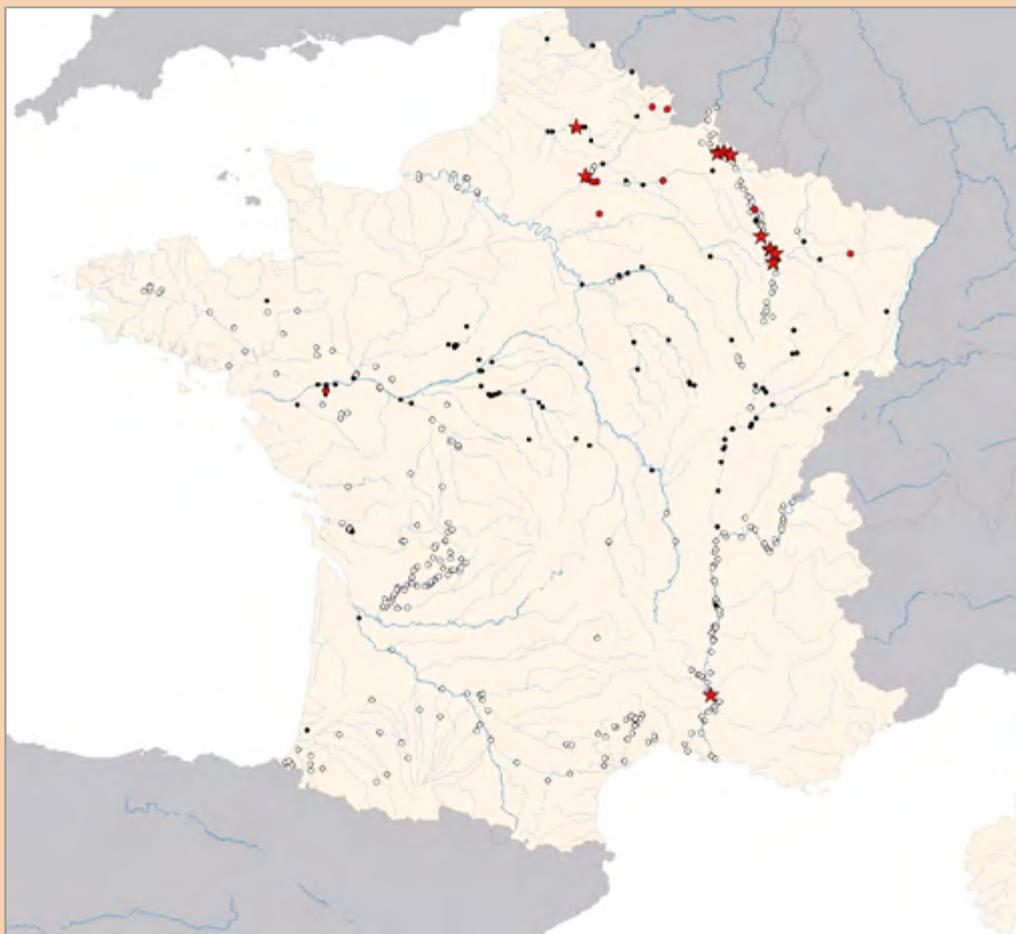


Figure 45 : répartition historique (points noirs), et actuelle (étoiles et points rouges) de la Grande Cyclade *Sphaerium rivicola*. Points blancs : données d'absence ADNe.



RÉFÉRENCES

- Addy, S., S. Cooksley, N. Dodd, K. Waylen, J. Stockan, A. Byg & K. Holstead 2016. — River Restoration and Biodiversity: Nature-based solutions for restoring rivers in the UK and Republic of Ireland. CREW reference: CRW2014/1 Society for ecological restoration (<https://www.ser.org/>)
- Ashton, M. J., J. S. Tiemann & D. Hua 2017. — Evaluation of costs associated with externally affixing PIT Tags to freshwater mussels using three commonly employed adhesives. *Freshwater Mollusk Biology and Conservation* 20: 114–122
- Baudoin, J.-M., V. Burgin, M. Chanseau, M. Larinier, M. Ovidio, W. Sremski, P. Steinbach & B. Voegtle 2014. — *Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons – Principe et méthodes*. Information sur la Continuité Écologique, Comprendre pour agir, ONEMA, 200 pages
- Bauer, G. 2001. — Life-history variation of different taxonomic levels of Naiads. In Bauer G. & K. Wächtler (eds.), *Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida* Vol. 145. Berlin, Springer (Ecological Studies). 83–91.
- Bij de Vaate, A. & J.-N. Beisel 2011. — Range expansion of the quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* (Andrusov, 1897) in Western Europe: first observation from France. *Aquatic Invasions* 6 (Suppl. 1): 71–74.
- Biodiversita 2004. — Bivalves à valeur patrimoniale (*Unio crassus*) du bassin hydrographique de la Clouère (86) : répartition, démographie, conservation. SIA du Val de Clouère. p. 41.
- Biotope 2010. Étude préalable à la définition d'un plan d'action de restauration de six espèces de mollusques menacées en Île-de-France. DRIEE Île-de-France. 135 pp
- Cope, W. G., M. C. Hove, D. L. Waller, D. J. Hornbach, M. R. Bartsch, L. A. Cunningham, H. L. Dunn & A. R. Kapuscinski 2003. — Evaluation of relocation of unionid mussels to in situ refugia. *Journal of Molluscan Studies* 69: 27-34.
- Cucherat, X., L. Philippe, D. Froment & N. Tapko 2014. — Quand les moules se cachent lorsque l'on veut les compter ! Colloque international « Conservation et restauration des populations et de l'habitat de la moule perlière en Europe », *Penn ar Bed* 222 : 119
- Cuttelod, A., M. B. Seddon & E. Neubert 2011. — European red list of non-marine molluscs. Luxembourg : [Gland, Switzerland], Publications Office of the European Union ; Prepared by IUCN and the Natural History [Museum] of Bern. 97 p. (IUCN red list of threatened species. Regional assessments).
- Douda, K., P. Horký & M. Bílý 2012. — Host limitation of the thick-shelled river mussel: identifying the threats to declining affiliate species. *Animal Conservation* 15: 536–544.
- Downes, B. J., L. A. Barmuta, P. G. Fairweather, D. P. Faith, M. J. Keough, P. S. Lake, B. D. Mapstone & G. P. Quinn 2008. — *Monitoring ecological impacts - Concepts and practice in flowing waters*. Cambridge, Cambridge University Press. XII+ 434 p.
- Dunca, E. 2014. — Age determination of *Unio crassus* shells from Sauer and Our Rivers. *Bivalvia report n9* : 20 pp
- Dunn, H. L. 1993. — Survival of unionids four years after relocation. In: Cummings, K.S., Buchanan, A.C. & L.M. Koch, *Conservation and management of freshwater mussels* - Proceeding of a UMRCC Symposium, 12-14 October 1992, Saint-Louis, MO, USA. 93-99. Rock Island. (Upper Mississippi River Conservation Committee).
- Dunn, H. L. & B. E. Sietman 1997. — Guidelines used in four geographically diverse unionid relocations. In: Cummings, K.S., A.C. Buchanan, C.A. Mayer & T.J. Naimo *Conservation and management of freshwater mussels II: initiatives for the future*. Rock Island. (Upper Mississippi River Conservation Committee): 176-183.
- Dunn, H. L., B. E. Sietman & D. E. Kelner 2000. — Evaluation of recent Unionid (*Bivalvia*) relocations and suggestions for relocations and reintroductions. In: Johnson, P.D. & R.S. Butler, *Proceeding of the First Freshwater Mollusk Conservation Society Symposium*. Columbus (OH). (Ohio Biological Survey). 169-183.

- Engel, H. 1990. — Untersuchungen zur Autökologie von *Unio crassus* (Philipsson) in Nord-deutschland Hannover, Universität Hannover. 213 pp.
- Engel, H. & K. Wächtler 1989. — Some peculiarities in developmental biology of two forms of the freshwater bivalve *Unio crassus* in northern Germany. – *Archiv für Hydrobiologie* 115: 441–450.
- Fiers, V., B. Gauvrit, E. Gavazzi, P. Haffner & H. Maurin 1997. — *Statut de la faune de France métropolitaine. Statuts de protection, degrés de menace, statuts biologiques*. Patrimoine Naturels 24. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. 225 pp.
- Germain, L. 1931. — Faune de France - Mollusques terrestres et aquatiques (première partie). Vol. 21. Paris, Paul Lechevalier. 477 pp.
- Godron, D. A. 1863 — *Zoologie de la Lorraine ou Catalogue des animaux sauvages observés jusqu'ici dans cette ancienne province*. Mémoires de l'Académie Stanislas. 617-628.
- Hochwald, S. 1997. — *Das Beziehungsgefüge innerhalb der Größenwachstums- und Fortpflanzungsparameter bayerischer Bachmuschelpopulationen (Unio crassus Phil 1788) und dessen Abhängigkeit von Umweltfaktoren*. Bayreuther Forum Ökol 50: 1–166
- Hochwald, S. 1988. — *Untersuchungen zur Populationsökologie and Fortpflanzungsbiologie der Bachmuschel Unio crassus Phil 1788*. Ms Thesis, University of Bayreuth
- Hochwald, S. 2001. — Plasticity of Life-History Traits in *Unio crassus*. In Bauer, G. & K. Wächtler (eds), *Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida*. 127-141
- Holandre, J. J. 1836. — Faune du département de la Moselle. Mollusques ou coquilles terrestres et fluviatiles des environs de Metz. Metz (Thiel), 59 pp.
- IUCN 2021. — *Liste rouge des espèces menacées en France – Mollusques continentaux de France métropolitaine*. 16 pp.
- Joba, A. 1844. — Catalogue des Mollusques terrestres et fluviatiles observés dans le département de la Moselle. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle du Département de la Moselle*. 2: 31-45.
- Kieffer, J. J. 1921. — Catalogue des Mollusques vivants du département de la Moselle. D'après les matériaux réunis par feu M. l'Abbé Barbiche et coordonnés par l'Abbé J.-J. Kieffer. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Metz* 29 ((3) 5) : 7-36.
- Lamand, F. & X. Cucherat 2021. — Les Naiades de la région Grand-Est : état des connaissances et perspectives. In Léonard L. (Ed), Colloque national de malacologie continentale, Nantes 6 & 7 décembre 2018. *Naturae* (6) : <https://doi.org/10.5852/naturae2021a6>
- Lamand, F. & J.-N. Beisel 2014. — Proposal for a simple hydromorphological habitat survey method for freshwater bivalve (Unionidae) inventories. *Aquatic Ecology*. 48 (2): 237-245.
- Lopes-Lima, M., U. Kebapçı, & D. Van Damme 2014. — *Unio crassus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T22736A42465628.
- Locard, A. 1881. Contributions à la faune malacologique française, II. Catalogue des Mollusques terrestres et aquatiques des environs de Lagny (Seine-et-Marne). *Annale de la Société Linnéenne de Lyon*, 28: 97-125.
- Loiseau, J. 2017. Redécouverte de la Mulette épaisse (*Unio crassus* Philipsson, 1788) dans la Marne francilienne. *MalaCo*, 13 : 8.
- Mc Donald, D., V. de Billy & N. Georges 2018. — *Bonnes pratiques environnementales – Protection des milieux aquatiques en phase chantier – Anticipation des risques, gestion des sédiments et autres sources potentielles de pollution chimique des eaux*. Guides et protocoles. Agence Française pour la Biodiversité, 152 pp [<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-guides-protocoles/bonnes-pratiques-environnementales-protection-milieux-aquatiques-en-phase>].
- Meador, J.T., J.T. Peterson & J.M. Wisnieswski 2011. — An evaluation of the factor influencing freshwater mussel capture probability, survival, and temporary emigration in a large lowland river. *Journal of North American Benthological Society* 30: 507–521

RÉFÉRENCES

- Newton, T. J., S. J. Zigler, P. R. Schrank, M. Davis & D. R. Smith 2020. — Estimation of vital population rates to assess the relative health of mussel assemblages in the Upper Mississippi River. *Freshwater Biology* : 1-14. DOI: 10.1111/fwb.13575
- Mouthon, J. 1994. — Fréquences et densités des espèces de mollusques dans les cours d'eau français. *Vertigo* 4: 19–28
- Pascal, L. 1873. Catalogue des Mollusques terrestres et des eaux douces du département de la Haute-Loire et des environs de Paris. *Archives des Missions scientifiques et littéraires* 3 (1): 327-407.
- Pooler, P.S. & D.R. Smith 2005. — Optimal sampling design for estimating spatial distribution and abundance of a freshwater mussel population. *Journal of the North American Benthological Society* 24 (3): 525–537. DOI: 10.1899/04-138.1
- Popper, K. 1985. Conjectures et réfutations, La Croissances du savoir scientifique, Paris, Payot. 610 pp.
- Prié, V., Q. Molina & B. Gamboa 2014. — French Naiad (Bivalvia: Margaritiferidae, Unionidae) Species Distribution Models: prediction maps as tools for conservation. *Hydrobiologia* 735 (1): 81-94. DOI: 10.1007/s10750-013-1597-3
- Prié, V. & N. Puillandre 2014. — Molecular phylogeny, taxonomy and distribution of French *Unio* species (Bivalvia, Unionidae). *Hydrobiologia* 735 (1): 95-110 DOI : 10.1007/s10750-013-1571-0
- Prié, V. 2017. — *Naiades et autres bivalves d'eau douce de France*. Biotope éditions, Mèze ; Publications scientifiques du Muséum, Paris (collection Inventaires et Biodiversité), 336 pp.
- Prié, V., A. Valentini, P. Jean, J.-B. Decotte, É. Breugnot, S. Couprie, G. Jardin, F. Lamand, N. Roset, T. Vigneron, M. Rocle, X. Cucherat, T. Dejean & P. Taberlet 2021a. - Cinq ans d'inventaires des Bivalves de France par analyse de l'ADN environnemental : quelles conclusions, quelles perspectives ? In Léonard, L. (éd.), Colloque national de malacologie continentale, Nantes, 6 & 7 décembre 2018. *Naturae* 2021 (8) : 91-114. DOI : 10.5852/naturae2021a8
- Prié, V., A. Valentini, M. Lopes-Lima, E. Froufe, M. Rocle, N. Poulet, P. Taberlet & T. Déjean, 2021b. - Environmental DNA metabarcoding for freshwater bivalves biodiversity assessment: methods and results for the Western Palearctic (European sub-region). *Hydrobiologia* 848 : 2931–2950. DOI: 10.1007/s10750-020-04260-8
- Prié, V., A. Danet, A. Valentini, M. Lopes-Lima, P. Taberlet, A. Besnard, N. Rozet, O. Gargominy & T. Dejean 2021c. — Large-scale monitoring of Freshwater bivalves : an eDNA point of view. DOI : 10.22541/au.158888143.31089837
- Quideau, Y. 1952a. — Mollusques observés sur les bords du Loing à Nemours. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 28 (6-7): 75-76.
- Quideau, Y. 1952b. Pélécy-podes fluviatiles et palustres trouvés dans la région de Fontainebleau. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 28 (4): 42.
- Quideau, Y. 1953. Mollusques observés à Nemours et Bagneaux-sur-Loing. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 29 (8-9): 80-81.
- Quideau, Y. 1954a. Promenade malacologique au bord du Loing. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 30 (8-9): 77.
- Quideau, Y. 1954b. Sur la systématique des mollusques de Fontainebleau. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 30 (6-7): 69-70.
- Quideau, Y. 1966. Les sorties de juin 1966. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing* 42 (9-10): 104.
- Scherrer, B. 1983. — Techniques de sondage en écologie. In Frontier, S. (ed.) Stratégies d'échantillonnage en écologie. Collection d'Ecologie Vol. 17. Paris et Laval-Quebec, Masson et les Presses de l'Université de Laval-Quebec. p. 63–162.
- Strayer, D.L. & D.R. Smith 2003. — *A guide to sampling freshwater mussel populations*. Vol. Monograph 8. Bethesda, American Fisheries Society. xi + 103 p.

- Smith, S.R. 2006. — Survey design for detecting rare freshwater mussels. *Journal of the North American Benthological Society* 25(3): 701–711
- Stoeckl, K., J.-E. Taeubert & J. Geist 2015. — Fish species composition and host fish density in streams of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) - implications for conservation. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 25: 276–287.
- Stoeckl, K. & J. Geist 2016. — Hydrological and substrate requirements of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* (Philipsson 1788). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26 (3): 456–469
- Stoeckl, K., M. Denic & J. Geist 2020. — Conservation status of two endangered freshwater mussel species in Bavaria, Germany: Habitat quality, threats, and implications for conservation management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 1-15. DOI: 10.1002/aqc.3310
- Strayer, D. L. 1999. — Use of flow refuges by unionid mussels in rivers. *Journal of the North American Benthological Society* 18: 468–476.
- Strayer, D. L. & Smith 2002. — *A guide to sampling freshwater mussels*. American Fisheries Society - Monograph 8: 110 pp.
- Taeubert, J.E., B. Gum & J. Geist 2012a. — Host-specificity of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*, Philipsson 1788) and implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 22: 36–46. DOI: 10.1002/aqc.1245
- Taeubert, J.E., A.M.P. Martinez, B. Gum & J. Geist 2012b. — The relationship between endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) and its host fishes. *Biological Conservation* 155: 94–103. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.06.005
- Taeubert, J. E., G. El-Nobi & J. Geist, 2014. — Effects of water temperature on the larval parasitic stage of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24: 231–237. DOI 10.1002/aqc.2385
- Thompson, S.K. 2002. — *Sampling - Second edition*. Wiley series in probability and statistics, New York, John Wiley & Sons. xvii + 367 pp.
- Tudorancea, C. & L. Gruia 1968. — Observation on the *Unio crassus* Philipsson population from the Nera River. *Travaux du Muséum d'histoire naturelle «Grigore Antipa»* 8 (1): 381-394.
- Valovirta, I. 2007. — New inventory and conservation methods of the threatened freshwater bivalve *Unio crassus*, in Jordaens, K., H. Van Houtte, J. Van Goethem & T. Backeljau (eds.), *World Congress of Malacology, Unitas Malacologica*. p. 229.
- Valovirta, I. 2008. — How to monitor and protect the three million individuals of *Unio crassus* in the Finnish capital HelsinkiIn: 5th Congress of the European Malacological Societies.
- Villella, R.F., D.R. Smith & D.P. Lemarié 2004. — Estimating survival and recruitment in a freshwater mussel population using mark-recapture techniques. *American Midland Naturalist* 151: 114–133
- Waller, D.L., J.J. Rach & W.G. Cope 1995. — Effects of handling and aerial exposure on the survival of Unionid mussels. *Journal of Freshwater Ecology* 10: 199-207.
- Wisniewski, J. M., C. P. Shea, S. Abbott & R. C. Stringfellow 2013. — Imperfect Recapture: A Potential Source of Bias in Freshwater Mussel Studies. *The American Midland Naturalist* 170 (2): 229–247. DOI: 10.1674/0003-0031-170.2.229
- Zajac, K., T. A. Zajac, P. Adamski, W. Bielański, A. Ćmiel, & A. Lipińska 2019.-. Dispersal and mortality of translocated Thick Shelled River Mussel *Unio crassus* Philipsson, 1788 adults revealed by radio tracking. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*. 29 : 331-340. DOI: 10.1002/aqc.3063
- Zajac, K. & T. A. Zajac 2020. — Seasonal patterns in the developmental rate of glochidia in the endangered thick-shelled river mussel, *Unio crassus* Philipsson, 1788. *Hydrobiologia* 848: 3077–3091. DOI: 10.1007/s10750-020-04240-y
- Zettler, M. L. & U. JUEG 2007. — The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the EC Habitats Directive. *Mollusca* 25: 165–174



Direction régionale
de l'environnement,
de l'aménagement
et du logement

Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement du Grand Est
2 rue Augustin Fresnel - CS 95038
57071 METZ Cedex 03
Tél. : 03 87 62 81 00 - Fax : 03 87 62 81 99
www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr



Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports
d'Île-de-France
21/23, rue Miollis - 75732 Paris Cedex 15
Tél. : 01 40 61 80 80 - Fax : 01 40 61 85 85
www.driea.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr



Office français de la biodiversité
Direction régionale Grand Est
Bâtiment Moselle - Chemin du Longeau
Rozérieulles - 57160 Moulins-lès-Metz
Tél. : 03 87 52 14 56
www.ofb.gouv.fr



Arion.idé sarl
10 rue Louis Aragon
59 147 Gondécourt
arion.ide@orange.fr

Vincent Prié - Expertises biodiversité
84 chemin du Castellat
34 700 Lodève