

Conservatoire d'espaces naturels des Pays-de-Loire

Rééquilibrage de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes Étude malacologique - Suivis 2021

Rapport d'étude

Avril 2022



Vincent Prié – Expertises biodiversité

Autoentreprise Erwann Jacquin

10 rue Louis Aragon
F-59147 Gondcourt
Courriel : arion.ide@orange.fr

84 chemin du Castellas
34700 Lodève
Courriel : prie.vincent@gmail.com
Cantegreille
31390 Bois de la Pierre
Courriel : erwannjacquin@yahoo.fr



Table des matières

1. Introduction	1
2. Objectifs de l'étude	1
3. Matériels et méthodes	1
3.1. Études des bivalves fluviaux du lit principal et des bras secondaires	1
3.1.1. Volet 1	1
3.1.2. Volet 2	3
3.2. Les Gastéropodes des bras secondaires de la Loire	4
3.2.1. Plan d'échantillonnage	4
3.2.2. Site de contrôle	5
3.2.3. Sites d'impact	5
3.2.4. Protocole de récolte	5
3.2.5. Analyses ADNe	6
4. Analyses des données	6
4.3. Volet 1	6
4.4. Volet 3	6
5. Dates de passage	6
6. Résultats	7
6.1. Volet 1	7
6.2. Volet 2	7
6.3. Volet 3	9
6.3.1. Approche classique	9
6.3.2. Approche par ADNe	12
7. Conclusion	13
8. Références	14
9. Annexe 1	15



1. Introduction

Le projet de rééquilibrage de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes va consister à :

- Rouvrir ou aménager des chevrettes au droit ou à l'entrée de bras secondaire du fleuve,
- Araser, raccourcir ou abaisser une série d'épis latéraux au fleuve,
- Aménager au niveau d'un socle rocheux existant, une zone de transition entre la Loire fluviale et la Loire fluvio-maritime (bassin à marée).

Les Mollusques aquatiques sont des organismes à mobilité relativement réduite, sensibles à l'évolution des micro- et macrohabitats. Dans le cadre du projet de rééquilibrage de la Loire entre les Ponts de Cé et Nantes, l'apport de l'étude des Mollusques aquatiques va permettre d'apprécier les effets des travaux sur leurs peuplements.

Le présent rapport s'attache à présenter et décrire les résultats de l'état initial des campagnes de suivi effectué en 2021.

2. Objectifs de l'étude

Les objectifs généraux de cette étude sont de suivre l'évolution des peuplements de Mollusques aquatiques et d'évaluer les effets (négatifs ou positifs) des travaux liés au projet. Ces objectifs de suivi portent sur :

❖ **Les peuplements et les abondances des bivalves fluviaux :**

- **Volet 1 :** suivre l'évolution et d'évaluer les effets (négatifs ou positifs) des mesures de rééquilibrage de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes sur les peuplements et les abondances des bivalves fluviaux ;
- **Volet 2 :** suivre l'évolution et d'évaluer les effets (négatifs ou positifs) des mesures de rééquilibrage de la Loire entre Ponts-de-Cé et Nantes sur la richesse spécifique en bivalves fluviaux à l'aide d'analyses d'ADN environnemental (ADNe).

❖ **Les peuplements de Gastéropodes aquatiques (volet 3) de quelques bras secondaires de la Loire qui sont susceptibles de réagir aux mesures de rééquilibrage du fleuve.**



3. Matériels et méthodes

3.1. Études des bivalves fluviaux du lit principal et des bras secondaires

Les deux premiers volets de cette étude sur les Mollusques aquatiques de la Loire sont complémentaires et permettront de réaliser une évaluation du projet sur les bivalves fluviaux. Les bivalves fluviaux considérés ici sont les moules d'eau douce de l'Ordre des Unionoida (concernant ici les genres : *Anodonta*, *Pseudanodonta*, *Potomida*, *Sinanodonta* et *Unio*) et de la famille des Sphaeriidae (que nous restreindrons aux espèces du genre *Sphaerium* inféodées aux fleuves).

3.1.1. Volet 1

❖ Localisation géographique

Les opérations vont concerner trois secteurs de la Loire, avec combinaison des opérations ou pas. Deux de ces secteurs se trouvent en contexte strictement fluvial (site A et B), tandis que le troisième se situe en contexte d'eau saumâtre (Site C). L'objet étant d'apprécier l'évolution des peuplements et l'abondance des bivalves d'eau douce, le plan d'échantillonnage a été mis en œuvre entre le secteur entre les Ponts-de-Cé et le pont de Mauve-sur-Loire (Figure 1).

❖ Concept et principe du suivi de l'impact des mesures de rééquilibrage

Pour apprécier ces évolutions, une approche expérimentale-témoin avant-après (Before After Control Impact, Downes *et al.* 2008) a été construite. Ce type d'approche permet d'étudier les impacts des activités quelles qu'elles soient et de les discriminer des variations naturelles. De manière simplifiée, la mise en œuvre d'une approche avant/après travaux implique le recueil d'informations :

- Depuis la zone impactée avant les travaux,
- Depuis la zone de contrôle ou témoin avant les travaux,
- Depuis la zone impactée après les travaux,
- Depuis la zone de contrôle ou témoin après les travaux.

Les suivis sur les zones impactées et de contrôle sont réalisés pendant la même période, avant le démarrage des travaux. Il en sera de même, pour les mêmes zones, après la réalisation des opérations. L'approche gagne en précision lorsque l'état initial est répété temporellement avant les travaux, ce qui permet de déceler les variations naturelles avant les opérations d'aménagement. Elle l'est tout autant lorsque des duplicats sont effectués dans chacune des zones.

❖ Plan d'échantillonnage

Sur le plan nomenclatural, nous définissons les zones suivantes (Figure 2) :

- Sites : zones où sont déployés les protocoles de suivi. Ils sont soit de contrôle, soit d'impact,
- Stations : zones du site où sont déployés les techniques de suivi,
- Placettes : surface où sont déployés les échantillons ou quadrats,
- Échantillon ou quadrat : surfaces d'étude où sont recueillis et comptés les bivalves.

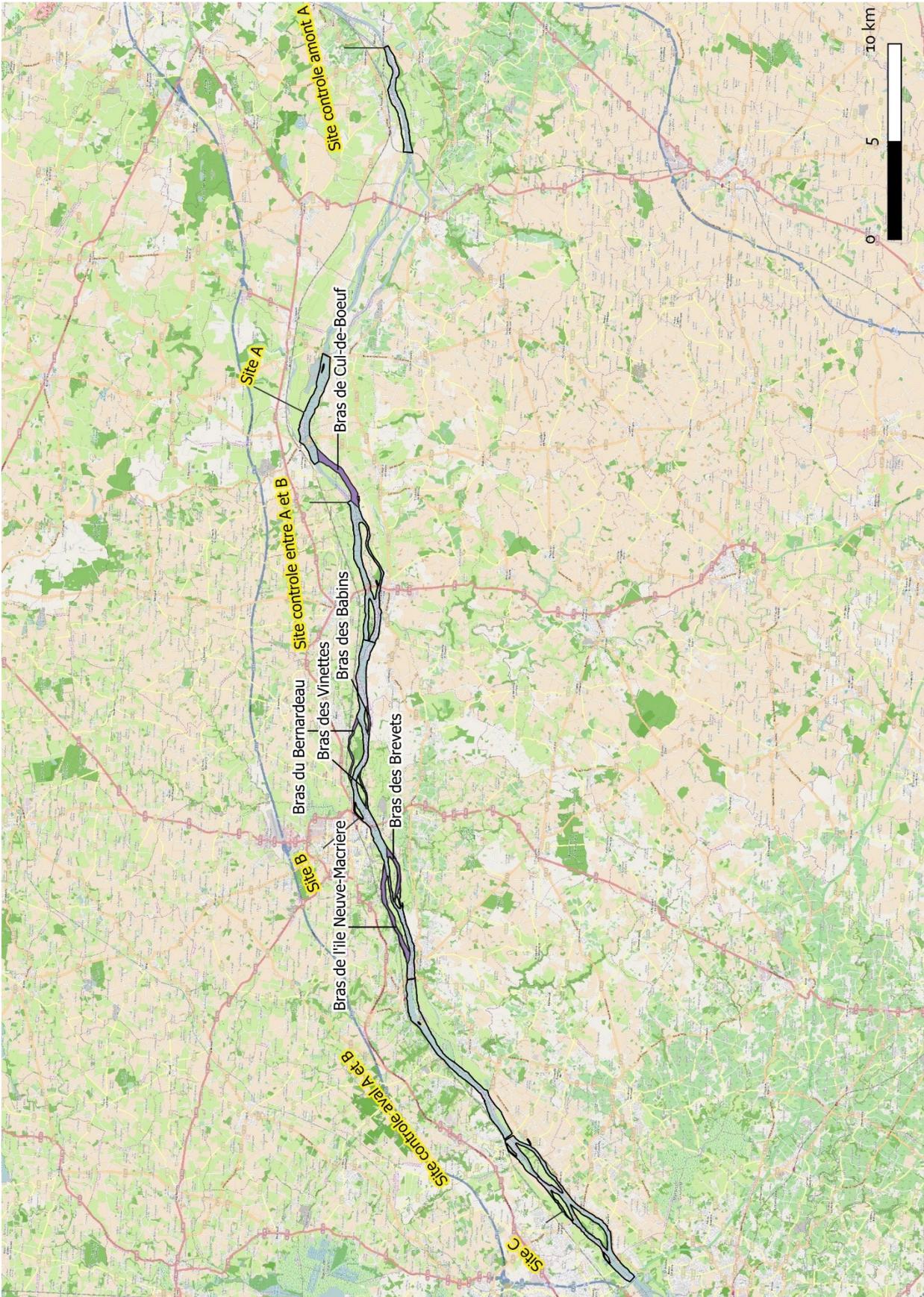


Figure 1 : Localisation des sites d'étude (Fond de carte : ©OpenStreetMap).

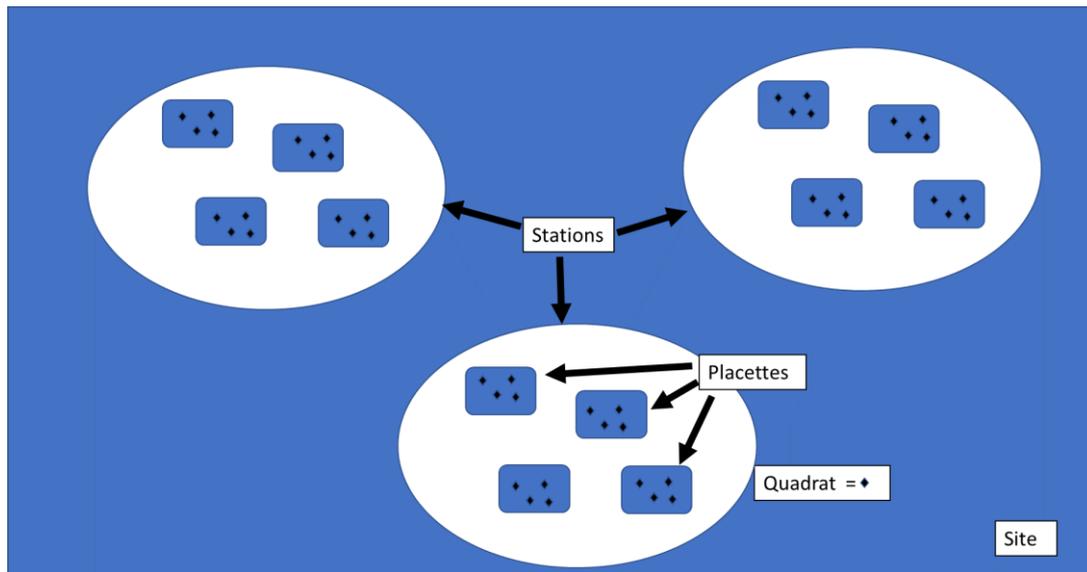


Figure 2 : Schéma de principe des différentes unités du plan d'échantillonnage.

❖ Sites d'études

Le périmètre d'étude correspond au bief entre Les Ponts-de-Cé et le pont de Mauve-sur-Loire.

Dans ce périmètre, les sites pour lesquels les effets des travaux devraient être le plus importants sur les Mulettes sont les sites A et B. Par conséquent, les sites d'impacts seront ces deux sites. Les sites de contrôle dans le lit principal se situent à l'amont des sites A et B, entre A et B et en aval de B (Figure 3). Étant donné *i*) l'absence de données préalables sur les Mulettes issues de l'étude d'impact initiale (THEMA ENVIRONNEMENT & FISH PASS 2020), *ii*) la nature des travaux sur le site C et *iii*) les effets hydrauliques escomptés sur les bivalves, qui ne devraient pas influencer leurs habitats des mulettes autant que les transports solides prévus à l'issue des travaux sur les sites A et B, le site C n'a pas été étudié par cette approche protocolaire (étudié selon une approche ADNe uniquement, cf. volet 2).

❖ Sites d'impacts A et B

Différents types d'aménagements sont prévus au niveau des épis (arasement, suppression partielle ou totale). Dans chacun des sites, cinq stations ont été disposées. Elles n'ont pas été disposées aléatoirement, parce qu'il y avait un risque qu'elles se localisent dans des endroits où il n'y avait pas de mulettes. Dans ces stations, cinq placettes (maximum) de 100 m² ont été disposées aléatoirement.

❖ Sites de contrôle

Trois sites de contrôle ont été étudiés. L'un se trouvera à l'amont des sites A et B et un autre en le site A et B et un dernier à l'aval de B (Figure 3).

Le site de contrôle est une section de la Loire où aucun travaux de quelle que nature que ce soit ne sera réalisé sur toute la durée du suivi. Le suivi des sites de contrôle bénéficie de la même méthodologie d'échantillonnage que celle employée pour les sites d'impacts (5 stations (maximum), 5 placettes par station).

❖ Travaux sur les bras secondaires sur les sites d'impacts A et B

Les effets des aménagements au niveau des bras secondaires se feront sentir sur l'ensemble du bras, et à l'amont et à l'aval des ouvrages aménagés, lorsqu'ils en présentent. Cinq placettes d'une



surface de 100 m² ont été disposées dans le bras de l'île Neuve Macrière (site d'impact) et du Cul-de-Bœuf (site de contrôle). Les autres bras ne pouvaient pas être étudiés, parce que les eaux étaient trop turbides ou que les surfaces en eau étaient trop réduites. Les placettes ont été disposées là où des bivalves étaient présents.

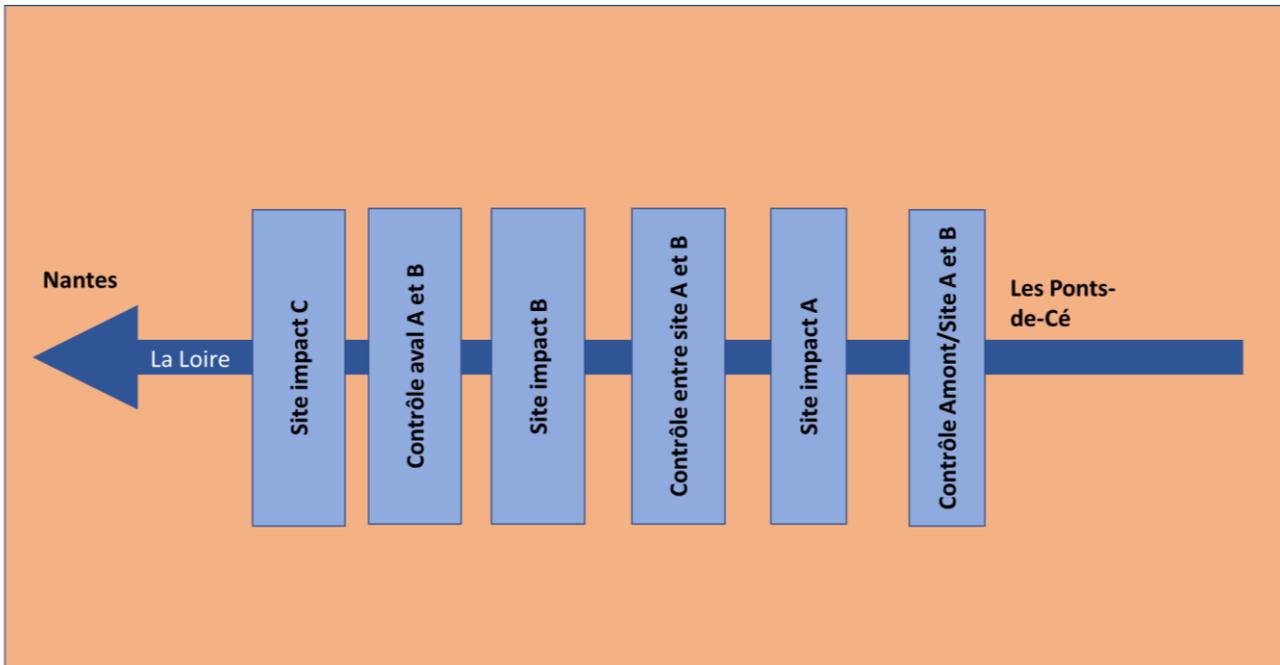


Figure 3 : Schéma de principe de la localisation des différents sites d'étude.

❖ Protocole de récolte des bivalves

Dans les placettes de 100 m², 30 quadrats de 50 x 50 cm (Figure 4) ont été placés selon un échantillonnage systématique (Thompson 2002; Strayer & Smith 2003). Les quadrats sont régulièrement disposés à l'issue d'un point de départ aléatoire dans la station. Ici la distance entre chaque échantillon systématique sera de 1,5 m environ. Compte tenu des caractéristiques et des spécificités des travaux en fleuve (comme la Loire), le double échantillonnage par réalisation d'excavation n'a pas été réalisé dans le chenal principal, mais uniquement dans les bras secondaires. Ce double échantillonnage par excavation permet de déterminer la proportion de grands bivalves et de Sphaeriidae enfouis ou non visibles depuis la surface. Ce double échantillonnage permet d'ajuster les densités d'individus dans la station. En pratique, les individus visibles depuis la surface dans le quadrat ont été recherchés et collectés (mis de côté), et ensuite le substrat a été excavé sur 5 cm à l'aide d'une griffe. Le sédiment excavé a été tamisé sur une maille de 5 mm.

Que ce soit dans le chenal principal ou dans les bras secondaires, les mulettes ont été recherchées en palme-masque-tuba ou en plongées hyperbares en fonction des profondeurs (profondeur des stations comprises en 50 cm et 6 m).



Figure 4 : Aperçu du comptage des Bivalves dans un quadrat de 50 x 50 cm (© V. Simon).

3.1.2. Volet 2.

Bien qu'elles ne fournissent pas d'information sur les abondances, les analyses d'ADNe *i)* sont beaucoup plus efficaces pour la détection des bivalves que les approches traditionnelles (Prié *et al.* 2021) ; *ii)* permettent la détection de l'intégralité des espèces de bivalves, y compris les très-petites espèces, avec une détermination basée sur une analyse génétique ; *iii)* sont standardisées et donc reproductibles dans le temps, par n'importe quel opérateur.

Compte-tenu de l'importance de détecter les espèces rares, les analyses ont été effectuées selon les hauts standards de qualité que fournissent les laboratoires SPYGEN : prélèvement d'une grande quantité d'eau pour intégrer au mieux l'information, deux réplicats terrain sur chaque site, extraction de l'ADN dans un environnement correspondant aux plus hautes exigences pour l'analyse de l'ADN rare et dégradé, 12 réplicats PCR par échantillons et 2x 300 000 séquences par échantillon.

❖ Localisation géographique

Contrairement au suivi des peuplements dans le cadre de l'expérience témoin avant-après, sites A, B et C ont été étudiés selon cette approche méthodologique. L'inclusion de l'analyse du site C par ADNe, alors que les moules de ce site ne feront pas l'objet de suivi d'abondance, repose sur le principe d'une vérification d'évolution qualitative des peuplements et permettra d'établir un état zéro concernant la progression préoccupante d'une espèce introduite envahissante (la Rangie d'Amérique *Rangia cuneata*, (Prié & Beisel 2020)). Cette mesure a été jugée suffisante compte tenu des effets escomptés des travaux envisagés sur ce site.

Ainsi les mêmes sites d'impacts A et B, ainsi que les sites de contrôle choisis pour le volet 1 ont bénéficié d'analyses ADNe. Le site C en a également été inventorié selon de cette approche méthodologique.

NB : les sites A et B ont déjà fait l'objet de prélèvements ADNe en 2020. Nous complétons ici cet échantillonnage sur le cours principal par l'analyse ADNe du site C uniquement.



❖ Plan d'échantillonnage

Les prélèvements ADN ont été effectués à l'aval de chaque site de suivi d'abondance, que ce soit pour le lit vif ou pour les bras secondaires, compte tenu du fait que les peuplements de ces macromilieux sont nettement différents (sur la base des pré-échantillonnages effectués en 2020).

❖ Prélèvements d'eau pour analyse ADN

▪ Prélèvements d'eau

La méthode standard d'échantillonnage mise au point pour les bivalves en milieu courant consiste pour chaque site à réaliser deux prélèvements de 30 L. d'eau chacun (Prié *et al.* 2021). Les prélèvements ont été réalisés par pompage direct dans le cours d'eau à l'aide d'une pompe péristaltique portable. L'eau prélevée est filtrée immédiatement dans une capsule dédiée.

Une solution tampon est enfin ajoutée dans la capsule à la fin de la filtration de manière à garantir une bonne préservation de l'ADN et la capsule est envoyée au laboratoire pour analyse. Tout le matériel utilisé est stérile et garanti *DNA-free*.

▪ Traitement des échantillons

Les laboratoires de SPYGEN sollicités dans le cadre de ce projet ont été créés spécifiquement pour traiter des échantillons environnementaux contenant de l'ADN rare ou dégradé. Ils offrent un environnement de type « salle blanche » permettant d'éviter les contaminations extérieures et entre échantillons, avec des salles séparées selon les étapes d'analyses, des ordres de passage, des pressions différentielles, des renouvellements d'air fréquents et des traitements UV. Les personnes en charge des analyses sont elles-mêmes équipées pour éviter tout risque de contamination (combinaisons, gants, masques...).

La première étape de l'analyse consiste à extraire l'ADN présent dans la capsule de filtration (Figure 5). Une amplification de l'ADN est ensuite effectuée avec un couple d'amorces universelles pour les Unionidés et un couple d'amorces universelles pour les Vénéridés (Prié *et al.* 2021, 12 réplicats par échantillon et par couple d'amorces) puis les échantillons amplifiés sont séquencés à l'aide d'un séquenceur nouvelle génération (MiSeq - Illumina).



Figure 5 : Aperçu de la collecte d'ADNe (© X. Cucherat).

À chaque étape du protocole des témoins négatifs sont analysés en parallèle aux échantillons, afin de contrôler la pureté des consommables utilisés et de détecter d'éventuelles contaminations croisées au cours de la manipulation.

Les séquences obtenues sont analysées avec des outils bio-informatiques permettant d'éliminer les erreurs dues à l'amplification ou au séquençage (à l'aide de différents filtres) et de comparer chaque séquence avec les bases de référence Bivalves (Prié *et al.* 2021). Une liste d'espèces est ensuite établie pour chaque échantillon avec la base de référence utilisée ainsi que le nombre de séquences ADN attribuées à chaque espèce.

3.2. Les Gastéropodes des bras secondaires de la Loire

Il s'agit ici du troisième volet de l'étude.

3.2.1. Plan d'échantillonnage



Sur le plan nomenclatural nous définissons les zones suivantes :

- Sites : bras secondaire concerné.
- Stations : zones du site où sont récoltés les Gastéropodes aquatiques.

La métrique étudiée est l'évolution de la richesse spécifique (nombre d'espèces) en Gastéropodes aquatiques des bras influencés par les mesures de rééquilibrage.

3.2.2. Site de contrôle

Le site de contrôle est le bras du Cul-de-Bœuf (CDB). Ce bras ne devrait pas subir d'évolution notable consécutive aux mesures de rééquilibrage de la Loire. Ce site permettra de vérifier que les évolutions constatées

3.2.3. Sites d'impact

Les sites suivants devraient connaître une évolution hydro-géomorphologique consécutive aux mesures de rééquilibrage de la Loire :

- Bras du Bernardeau (BE),
- Bras des Brevets (BR),
- Bras des Babins (BA),
- Bras des Vinettes (VI),
- Bras de l'Île Neuve-Macrière (NM).

3.2.4. Protocole de récolte

Les Gastéropodes ont été étudiés de manière qualitative (présence/absence). Ces animaux ont été recherchés à l'aide d'une épuisette métallique d'un mm de vide de maille. La récolte a été effectuée dans des stations de 50 x 50 cm (Figure 6), qui ont été réparties de manière raisonnée (Cucherat & Demuynck 2008) le long des berges de chaque bras. Le sédiment et la végétation aquatique récoltés dans chaque station ont été tamisés sur un tamis d'un millimètre de vide de maille. Les espèces seront identifiées directement sur le terrain, puis relâchées. Les espèces, dont l'identification nécessite un examen des organes génitaux, ont été récoltées et étudiées en laboratoire.



Figure 6 : Aperçu de la technique de prélèvement mise en place pour la collecte des Gastéropodes aquatiques (© X. Cucherat)



3.2.5. Analyses ADNe

Des analyses ADNe ont été réalisées sur chaque bras secondaire suivant le protocole détaillé dans le paragraphe 3.1.2. Pour ces analyses, nous avons amplifié les bivalves et également les Gastéropodes, selon un protocole similaire inédit, mais déjà validé sur d'autres études en France (à l'aide d'amorces spécifiques Gastéropodes développées par SPYGEN). La liste d'espèces obtenue doit permettre de confirmer et/ou compléter les résultats obtenus par la méthode traditionnelle. Elle permettra également d'ajouter à l'inventaire les petites espèces de Sphaeriidae, difficiles à récolter et à déterminer par les méthodes traditionnelles, mais considérées comme de très bonnes bioindicatrices des modifications environnementales.

4. Analyses des données

4.3. Volet 1

Les estimations des abondances (nombre d'individu par quadrat) par placette ont été effectuées selon les formules classiques d'estimation pour les techniques de sondage proposées (Thompson 2002; Strayer & Smith 2003). L'estimation de l'intervalle de confiance à 95% de ce nombre moyen d'individus par quadrat pour chaque placette a été calculé à l'aide d'un bootstrap avec 1 000 répétitions et avec la méthode BCa (DiCiccio & Efron 1996).

4.4. Volet 3

La comparaison des richesses spécifiques en Gastéropode a été appréciée à l'aide de la technique de raréfaction (Chao *et al.* 2014). Cette technique permet d'évaluer la richesse spécifique à partir des résultats d'échantillonnage. Ainsi, à partir d'un échantillon donné, il est possible de donner le nombre d'espèces correspondant. Les résultats se matérialisent par le tracé de courbe dites de raréfaction, associée à leur intervalle de confiance (ici fixé à 95%). L'échantillonnage pour la construction des courbes de raréfaction repose sur la technique du bootstrap.

Un cadrage multidimensionnel non-métrique (ou analyse de proximité) a été effectué pour déterminer si les peuplements des différents bras secondaires se ressemblaient ou pas. Ce type d'analyse de données vise à représenter les relations d'ordre (similarité) qu'il y a entre les objets dans un nombre restreint de dimensions (ici deux dimensions) (Borcard *et al.* 2018). Ce type d'ordination non-euclidienne repose sur le calcul initial d'une matrice de similarité. Compte tenu du fait que la table de contingence ne comporte que des données de présence/absence des espèces par station, la matrice de similarité a été construite à partir de l'indice de Jaccard (Magurran 2004).

Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2018) et le cadrage multidimensionnel non-métrique a été réalisé à l'aide des packages iNEXT (Hsieh *et al.* 2016) et Vegan (Dixon 2003).

5. Dates de passage

Les Mollusques aquatiques des bras secondaires ont été recherchés entre le 05 et le 10 septembre 2021. Les prélèvements ADNe les concernant ces bras ont également été effectués en septembre 2021. Les Bivalves ont été étudiés entre le 13 et le 18 septembre 2021, compte tenu du fait que les conditions hydrologiques (débits élevés et turbidité importante) de la Loire en juillet et en août 2021 ne permettaient pas d'effectuer des plongées en toute sécurité. Les prélèvements ADNe ont été réalisés à la même période que les prospections visuelles.



6. Résultats

6.1. Volet 1

L'ensemble des résultats correspondant à l'étude des mulettes dans les différentes stations des différents sites sont repris en annexe 1. Un total de 27 stations (soit 134 placettes) a été étudié : 25 stations sur le lit principal et deux localisées dans deux bras secondaires (respectivement une dans le bras de l'Île Neuve-Macrière et dans le bras du Cul-de-Bœuf). Sur l'ensemble de ces stations, 3869 quadrats ont été effectués. Sur ces 27 stations étudiées, six d'entre elles n'ont montré aucun Unionidé. En dehors de ces dernières stations, 22 placettes effectuées sur les autres stations n'ont montré aucune espèce.

Six espèces ont été observées au cours des recherches : Mulette épaisse *Unio crassus*, Mulette méridionale *Unio mancus*, Anodonte des rivières *Anodonta anatina*, Anodonte des étangs *Anodonta cygnea*, Anodonte chinoise *Sinanodonta woodiana* et la Mulette des rivières *Potomida littoralis*. Sur les 134 placettes étudiées, l'espèce la plus fréquemment observée est la Mulette des rivières (65 placettes), suivie de l'Anodonte chinoise (30 placettes), puis l'Anodonte des rivières (17 placettes), la Mulette épaisse (16 placettes), la Mulette méridionale (13 placettes) et l'Anodonte des étangs (2 placettes).

Le nombre minimal et maximal d'individus par quadrat (avec intervalle de confiance à 95 %) par espèce est :

- Mulette des rivières : 0,03 (0 ; 0,07) et 2,1 (1,21 ; 3,43) ;
- Anodonte chinoise : 0,03 (0 ; 0,1) et 0,17 (0,03 ; 0,37) ;
- Anodonte des rivières : 0,03 (0 ; 0,1) et 0,1 (0 ; 0,2) ;
- Mulette épaisse : 0,03 (0 ; 0,1) et 0,2 (0 ; 0,53) ;
- Mulette méridionale : 0,03 (0 ; 0,1) et 0,53 (0,2 ; 0,87) ;
- Anodonte des étangs : 0,03 (0 ; 0,1) et 0,07 (0 ; 0,17).

6.2. Volet 2

Les résultats obtenus pour les bivalves confirment les observations réalisées sur le terrain. Concernant les Naïades, deux espèces supplémentaires ont été détectées par l'approche ADNe, alors que non détectée par les recherches visuelles : la Mulette renflée *Unio tumidus* et la Mulette des peintres *Unio pictorum*. La donnée de Mulette renflée au niveau du pont de Bellevue est remarquable, parce qu'il s'agit de la donnée la plus aval sur la Loire. Elle n'était connue, jusqu'à ce jour, que de quelques populations situées à l'amont d'Orléans. Il est possible que la Mulette des peintres ait été détectée visuellement lors des recherches dans les quadrats, mais il est possible qu'elle ait été identifiée comme de la Mulette méridionale (les deux taxons sont difficiles à différencier sur le terrain).

Concernant les Venerida, trois espèces exotiques envahissantes ont été détectées : les Corbicules div. sp., abondante partout sur la Loire ; la Moule zébrée *Dreissena polymorpha*, qui n'avait été contactée que sous la forme de coquilles lors de nos plongées et la Pisidie d'Amérique *Euglesa compressa*, déjà connue sur la Loire mais seulement par quelques données éparses.



Tableau 1 : Synthèse des résultats des campagnes ADNe sur les points réalisés dans le lit principal de la Loire et sur les bras secondaires en 2020-2021 (* non détecté par ADNe).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nom des sites étudiés							
		Site B	Site C	Bras du Bernardeau	Bras des Babins	Bras des Brevets	Bras de Cul-de-boeuf	Bras de l'Île Neuve-Macrière	Bras des Vinettes
Anodonte des rivières	<i>Anodonta anatina</i>	X	X	X	X	X	X		X
Anodonte des étangs	<i>Anodonta cygnea</i>		X		X		X		
Mulette des rivières	<i>Potomida littoralis</i>	X	X		X	X	X		
Anodonte chinoise	<i>Sinanodonta woodiana</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
Mulette ligérienne	<i>Unio crassus courtillieri</i>	X	X				X		
Mulette méridionale	<i>Unio mancus</i>	X	X	X	X	X	X		X
Mulette des peintres	<i>Unio pictorum</i>	X	X			X		X	X
Mulette renflée	<i>Unio tumidus</i>		X						
Corbicule div. sp.	<i>Corbicula</i> sp.		X	X	X		X	X	X
Moule zébrée	<i>Dreissena polymorpha</i>	X	X		X	X		X	X
Pisidie robuste	<i>Euglesa casertana</i>								X
Pisidie d'Amérique	<i>Euglesa compressa</i>					X			
Pisidie chiendent	<i>Euglesa subtruncata</i>								X
Pisidie des plaines	<i>Euglesa supina</i>					X	X		X
Cyclade commune	<i>Sphaerium corneum</i>	X			X	X		X	X
Grande Cyclade	<i>Sphaerium rivicola</i>			X	X	X		X	X
Cyclade des fleuves	<i>Sphaerium solidum</i>			X	X*	X			X

On note également la présence de deux espèces remarquables : la Grande Cyclade *Sphaerium rivicola* (Figures 7 et 8) et la Cyclade des fleuves *Sphaerium solidum* (Figures 9 et 10). La Grande Cyclade a été détectée dans les bras du Bernardeau, des Babins, des Brevets et de l'Île Neuve Macrière, tandis que la Cyclade des fleuves a été détectée dans les bras du Bernardeau et des Brevets.



Figure 7 : Vue d'un spécimen de Grande Cyclade provenant du bras du Bernardeau (© Cucherat 2020).



Figure 8 : Vue de deux spécimens de Grande Cyclade provenant du bras du Bernardeau en milieu naturel (© Cucherat 2020).



Figure 9 : Vue d'un spécimen de Cyclade des fleuves provenant du bras des Babins (© Cucherat 2020).



Figure 10 : Vue d'un spécimen de Cyclade des fleuves provenant du bras des Brevets en milieu naturel (© Prié 2020).

Visuellement, ces deux espèces avaient déjà été détectées visuellement lors des préparations de terrain et lors des premiers tests de prélèvements ADNe en 2019 dans le bras des Vinettes. Les prélèvements ADNe et les analyses effectuées en 2020 permettent leur détection dans les autres bras. On soulignera que la Grande Cyclade a été détectée visuellement lors des prospections Gastéropodes sur les bras secondaires, à l'exception de celui de l'île Neuve Macrière où elle n'a pas été récoltée. En ce qui concerne la Cyclade des fleuves, elle n'a pas été détectée par les analyses ADNe alors qu'elle a été récoltée lors des prélèvements de sédiment pour l'étude des Gastéropodes dans le bras des Babins. Sur ce dernier bras, la pièce d'eau où cette Cyclade a été collectée était totalement déconnectée de la pièce d'eau où les prélèvements ADNe avaient été réalisés.

Ces observations soulignent l'intérêt des bras secondaires pour la préservation de ces deux espèces, parce qu'elles sont menacées à l'échelle nationale. On remarquera que la Cyclade des fleuves n'est connue vivante que de deux autres localités en France, toutes deux situées dans le bassin de la Seine.

6.3. Volet 3

6.3.1. Approche classique

Treize espèces de Gastéropode aquatique ont été observées sur l'ensemble des bras secondaire. Le tableau 1 reprend l'ensemble de ces espèces par bras et leur fréquence d'observation. Sur ces 13 espèces, cinq sont introduites en France : Planorbine américaine, Patelline fragile, Limnée épaulée, Physse voyageuse et Hydrobie des Antipodes. Une Planorbine n'a pu être identifiée. Il s'agit très vraisemblablement d'une espèce introduite, dont l'identité taxonomique devra être explorée au travers d'analyses génétiques.

L'espèce la plus fréquente est la Physse voyageuse, suivie de la Bithynie commune et de l'Hydrobie des Antipodes. La Limnée épaulée n'a été observée qu'une seule fois, dans le bras des Brevets. La Physse voyageuse, la Bithynie commune et l'Hydrobie des Antipodes sont des espèces fréquentes dans les milieux aquatiques perturbés, que ce soit par les activités humaines ou non (par exemple dans des systèmes aquatiques qui connaissent un régime régulier de crues). On soulignera que la Patelline des fleuves et la Paludine d'Europe sont des espèces de cours d'eau et leur présence traduit des mouvements d'eau (à tout le moins, de l'eau renouvelée que ce soit par la nappe ou directement par la Loire).



Tableau 2 : Liste des espèces de Gastéropodes aquatiques (rangées par ordre alphabétique du nom scientifique) observées dans les bras secondaires étudiés avec leur fréquence d'observation par rapport à l'effort d'observation consenti pour chacun des bras concernés.

	Bras des Vinettes	Bras du Bernardeau	Bras des Babins	Île Neuve-Macrière	Bras des Brevets	Bras du Cul-de-Bœuf	Total
Effort d'observation en nombre de stations	38	42	30	43	32	25	210
Richesse spécifique	9	10	9	12	12	9	13
Limnée commune	13	6	2	17	4	13	55
<i>Ampullaceana balthica</i> (Linnaeus, 1758)							
Patelline des fleuves	5	0	3	2	0	5	15
<i>Ancylus fluviatilis</i> O.F. Müller, 1774							
Bithynie commune	15	7	16	18	9	15	80
<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)							
Planorbine américaine	0	0	2	5	2	0	9
<i>Dilatata dilatata</i> (Gould, 1841)							
Patelline fragile	1	1	0	5	1	1	9
<i>Ferrissia californica</i> (Rowell, 1863)							
Limnée épaulée	0	0	0	0	1	0	1
<i>Galba truncatula</i> (O.F. Müller, 1774)							
Planorbine indéterminée	0	3	0	17	2	0	22
<i>Gyraulus</i> sp.							
Grande limnée	1	8	0	3	5	1	18
<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)							
Physé voyageuse	25	41	19	28	25	25	163
<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)							
Hydrobie des Antipodes	20	3	7	12	18	20	80
<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (Gray, 1843)							
Limnée conque	11	2	4	4	4	11	36
<i>Radix auricularia</i> (Linnaeus, 1758)							
Valvée porte-plumet	0	1	1	1	1	0	4
<i>Valvata piscinalis</i> (O.F. Müller, 1774)							
Paludine d'Europe	8	7	26	6	1	8	56
<i>Viviparus viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)							

Les courbes de raréfactions calculées pour chacun des bras (Figure 11) permet de comparer à effort d'échantillonnage équivalent la richesse spécifique de chacun des bras.

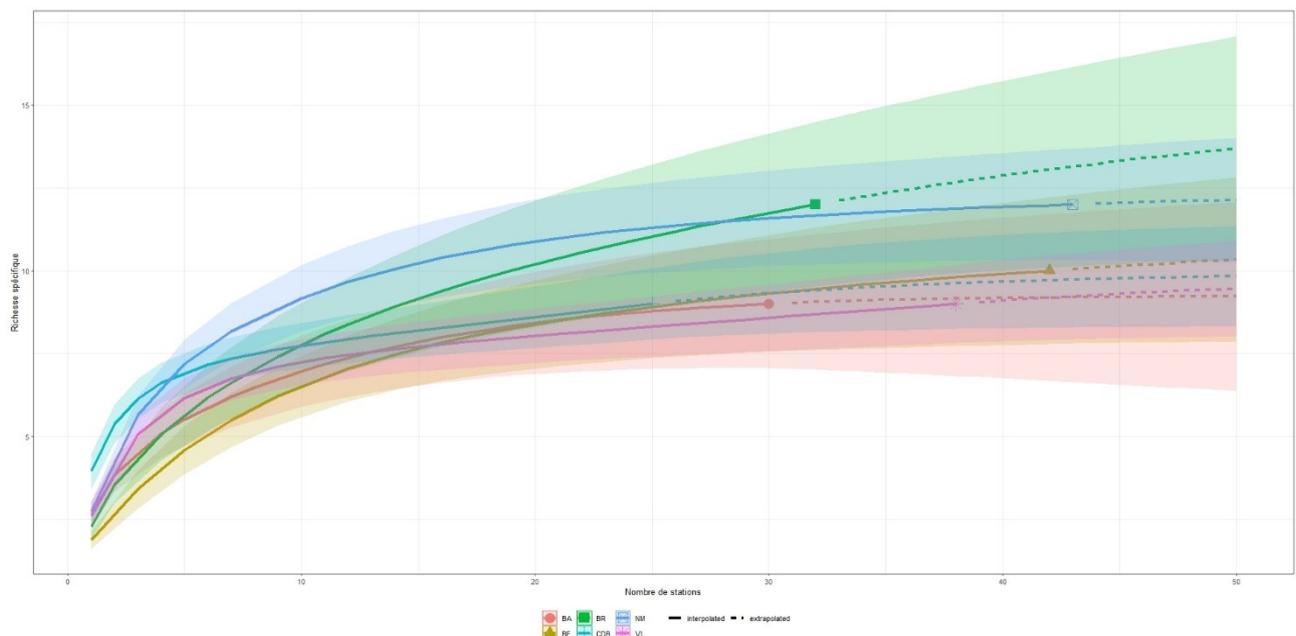


Figure 11 : Courbes de raréfaction (avec leur intervalle de confiance à 95%) de la richesse spécifique pour chacun des bras secondaires étudiés (BA= bras des Babins, BE = bras du Bernardeau, CDB = bras du Cul-de-Bœuf, NM = bras de l'île Neuve-Macrière, BR = bras des Brevets, VI = bras des Vinettes).



En valeur absolue et à effort d'observation comparable, le bras des Brevet est le bras secondaire parmi ceux qui ont été étudiés qui présente la richesse spécifique en Gastéropode la plus élevée avec 12 espèces pour 32 stations. Le moins riche d'entre ces bras est le bras des Vinettes. Cependant les intervalles de confiance de chacune des courbes de recouvrement beaucoup, ce qui signifie que les différences de richesses en Gastéropodes aquatiques observées se sont pas significatives entre elle. Cela est principalement lié à la variation de richesse spécifique observée par prélèvement, puisque certains prélèvements étaient monospécifiques tandis que d'autres beaucoup plus variés. Cela induit automatiquement des intervalles de confiances larges, lorsque ceux-ci sont calculés.

La figure 12 illustre l'analyse de proximité réalisée sur la matrice d'occurrence x stations effectuées dans chacun des bras secondaires. Chaque bras est représenté par un polygone convexe associé à son barycentre et son ellipse. Quel que soit le bras, le polygone convexe regroupe toutes les stations qui ont été effectuées dans ledit bras. Le barycentre, quant à lui, correspond au centre de gravité des stations dans le polygone convexe correspondant (cela est également représenté par l'ellipse). On constate que les barycentres de chacun des polygones convexes sont très proches les uns des autres ; il n'y a que celui du Bras des babins qui s'écarte légèrement des autres selon l'axe 2 de la représentation graphique de l'analyse de proximité. Cette proximité entre barycentres signifie que, sur la base de leur composition en Gastéropodes aquatiques, les bras secondaires sont très proches. Cependant quelques stations s'écartent de ces barycentres. Ce sont des stations composées que d'une seule espèce. Elles donnent un poids particulier à ces stations en les situant éloignées du barycentre.

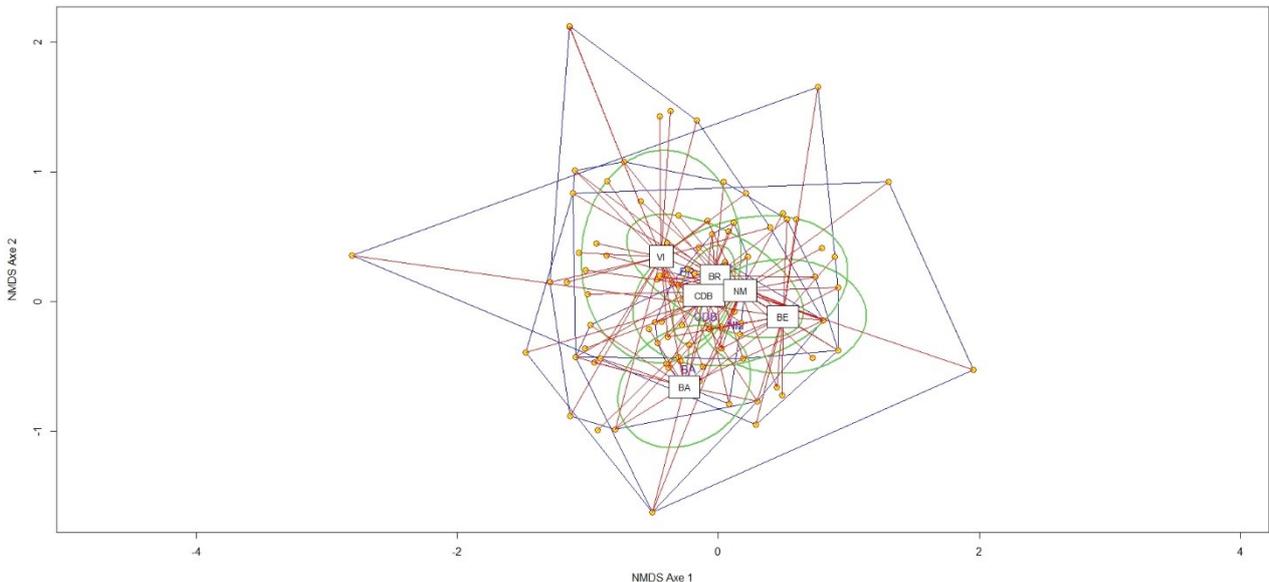


Figure 12 : Analyse de proximité sur la table de contingence en présence/absence des Gastéropodes aquatiques observés dans les stations réalisées dans les différents bras secondaires étudiés. Chacune des stations réalisées dans les bras secondaires sont regroupée dans un polygone convexe. Les barycentres (associés à leurs ellipses) sont représentés par les acronymes de chacun de ces bras (BA= bras des Babins, BE = bras du Bernardreau, CDB = bras du Cul-de-Bœuf, NM = bras de l'île Neuve-Macrière, BR = bras des Brevets, VI = bras des Vinettes).

L'étude des Gastéropodes aquatiques des bras secondaires ne permet pas de distinguer les différents bras sur la base de leur composition faunistique. Visuellement, ces bras montrent un fonctionnement différent en ce qui concerne leur alimentation en eau, mais aussi en ce qui concerne leur aménagement. Ainsi le bras du Cul-de-Bœuf est en connexion directe et permanente avec la Loire tout au long de l'année, tandis que les autres non. Ils sont déconnectés au moins une partie de l'année par écoulement direct, mais ne présume pas de déconnexion de la nappe alluviale.



De ce fait, on aurait pu s'attendre à ce que les peuplements du Cul-de-Bœuf contraste avec ceux des autres ; avec des peuplements caractéristiques des milieux lotiques, tandis que les autres composés d'espèces davantage de milieux lenticules. Il existe donc d'autres facteurs qui régissent la composition malacologique de ces bras. La description et l'analyse de la composition malacologique des bras secondaires seraient améliorées en incluant d'autres milieux aquatiques du lit majeur de la Loire. Par exemple, il serait intéressant d'inclure des boires ou d'autres milieux aquatiques (plan d'eau, fossés, etc.) qui appartiennent au système fluvial, mais qui n'ont pas du tout le même fonctionnement que les bras étudiés. Cela permettrait d'étudier les contrastes possibles entre ces systèmes aquatiques sur la base des Gastéropodes aquatiques et de mieux comprendre leur fonctionnement.

6.3.2. Approche par ADNe

Les résultats des analyses ADNe pour les Gastéropodes ne sont pas satisfaisants. En effet, seules des espèces communes ont été détectées et les résultats sont moins bons que ceux obtenus par la méthode déployée pour l'étude des peuplements (Tableau 3). Ceci est probablement dû au fait que les Gastéropodes relâchent moins d'ADN dans le milieu que les Bivalves, mais aussi par le fait que les bras secondaires montrent, pour certain, des pièces d'eau qui ne sont pas connectées entre elles en période des basses eaux (et donc au moment des prélèvements).

Tableau 3 : Synthèse des résultats des campagnes ADNe sur les points réalisés dans les bras secondaires en 2021 pour les Gastéropodes.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Site C	Nom des sites étudiés				
			Bras du Bernardeau	Bras des Babins	Bras des Brevets	Bras du Cul-de-Bœuf	Bras de l'Île-Neuve-Macrière
Paludine indéterminée	<i>Viviparus cf. acerosus</i>			X		X	X
Hydrobie des antipodes	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	X	X			X	X
Pateline des fleuves	<i>Ancylus fluviatilis</i>	X				X	
Pateline fragile	<i>Ferrissia cf. californica</i>					X	
Lymnée commune	<i>Ampullaceana balthica</i>	X				X	
Lymnée conque	<i>Radix auricularia</i>				X	X	
Physe voyageuse	<i>Physella acuta</i>				X	X	

Néanmoins, ces analyses mettent en évidence que les séquences obtenues pour les *Viviparus* de l'aire d'étude sont proches de celles de *Viviparus acerosus*. Il s'agit d'une espèce actuellement considérée comme endémique du bassin du Danube. Ici, jusqu'à présent, les *Viviparus* observés dans la Loire (lit principal et bras secondaire) étaient considérés comme des *Viviparus viviparus viviparus* ; l'espèce la plus commune en France.

Ces résultats incitent à réaliser des études complémentaires pour déterminer l'identité spécifique précise de ces *Viviparus*. Pour cela, il sera nécessaire de collecter, étudier anatomiquement et séquencer des individus des bras secondaires et du lit principal de la Loire, comparativement à d'autres espèces de Paludines venant de France et d'Europe.



Figure 13 : Aperçu d'individus de *Viviparus* de l'aire d'étude dont l'identité doit être confirmée par des études taxonomiques plus détaillées (© V. Prié).



7. Conclusion

L'abondance des Mollusques Bivalves du lit principal de la Loire et de quelques bras secondaires ont été étudiés à l'aide d'une approche BACI et par une approche par ADNe entre les Ponts-de-Cé et Nantes, dans le cadre du programme de rééquilibrage de la Loire. La richesse spécifique des Gastéropodes aquatiques de quelques bras secondaires a également été étudiée par des techniques de récoltes conventionnelles et par ADNe. L'objectif global de cette étude présentée ici était de dresser un état initial le plus complet pour évaluer les effets des travaux du projet de rééquilibrage sur les abondances des Bivalves et sur la richesse spécifique en Gastéropodes aquatiques des bras secondaires susceptibles de réagir à ces travaux.

Les prospections visuelles et les campagnes de prélèvements d'ADNe ont permis de dresser une liste d'espèces en Bivalve quasi exhaustive et d'apporter les premiers éléments d'abondance des grands Bivalves sur la portion étudiée. Huit espèces ont été détectées au travers de ces recherches. Les techniques visuelles ont permis de déterminer que l'espèce la plus fréquemment observée était la Mulette des rivières, suivie de l'Anodonte chinoise, l'Anodonte des rivières, la Mulette épaisse, la Mulette méridionale et l'Anodonte des étangs. Les deux autres espèces, détectées uniquement par les techniques d'analyses d'ADNe, sont la Mulette renflée et la Mulette des peintres ; cette dernière n'est quasiment pas distinguable de la Mulette méridionale dans le bassin ligérien. Les densités des Bivalves relevées dans le cadre de cette étude sont inédites à l'échelle de la basse vallée de la Loire.

L'étude des Gastéropodes des bras secondaires montre une faible richesse spécifique et des peuplements très similaires d'un bras à l'autre, alors que leur physionomie et leur fonctionnement diffèrent ; suggérant d'autres facteurs régissant la structuration de ces peuplements. Les analyses ADNe de ces bras secondaires font apparaître une moins bonne détection des espèces de Gastéropodes que par les techniques classiques de collectes ; probablement à cause de la structure des habitats aquatiques des bras étudiés. Cependant, elle a permis de détecter des espèces de petits bivalves remarquables : la Cyclade des fleuves et la Grande Cyclade. Enfin, l'étude des Gastéropodes, aussi bien de manière classique que par ADNe, a permis de détecter des espèces dont le statut taxonomique nécessite d'être étudiés de manière approfondie.

La poursuite du suivi permettra de déterminer l'évolution de ces différents compartiments malacologiques et de déterminer le poids des travaux de rééquilibrage vs les phénomènes naturels dans les évolutions qui pourront être observées.



8. Références

- BORCARD D., GILLET F. & LEGENDRE P. 2018. — *Numerical Ecology with R*. Cham, Springer International Publishing. (Use R!). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71404-2>
- CHAO A., GOTELLI N.J., HSIEH T.C., SANDER E.L., MA K.H., COLWELL R.K. & ELLISON A.M. 2014. — Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84 (1): 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>
- CUCHERAT X. & DEMUYNCK S. 2008. — Les plans d'échantillonnage et les techniques de prélèvements des mollusques continentaux. *MalaCo* 5: 244–253
- DI CICCIO T.J. & EFRON B. 1996. — Bootstrap confidence intervals. *Statistical Science* 11 (3): 189–228
- DIXON P. 2003. — VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science* 14 (6): 927–930. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2003.tb02228.x>
- DOWNES B.J., BARMUTA L.A., FAIRWEATHER P.G., FAITH D.P., KEOUGH M.J., LAKE P.S., MAPSTONE B.D. & QUINN G.P. 2008. — *Monitoring ecological impacts - Concepts and practice in flowing waters*. Cambridge, Cambridge University Press. XII+ 434 p.
- HSIEH T.C., MA K.H. & CHAO A. 2016. — iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers), in MCINERNEY G. (ed.). *Methods in Ecology and Evolution* 7 (12): 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- MAGURRAN A.E. 2004. — *Measuring biological diversity*. Oxford, Blackwell Science. viii + 256 p.
- PRIÉ V. & BEISEL J.-N. 2020. — La Rangia d'Atlantique, *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby I., 1832), une nouvelle espèce de bivalve introduite en France
- PRIÉ V., VALENTINI A., LOPES-LIMA M., FROUFE E., ROCLE M., POULET N., TABERLET P. & DEJEAN T. 2021. — Environmental DNA metabarcoding for freshwater bivalves biodiversity assessment: methods and results for the Western Palearctic (European sub-region). *Hydrobiologia* 848 (12–13): 2931–2950. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04260-8>
- R CORE TEAM 2018. — *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- STRAYER D.L. & SMITH D.R. 2003. — *A guide to sampling freshwater mussel populations* Vol. Monograph 8. Bethesda, American Fisheries Society. xi + 103 p.
- THEMA ENVIRONNEMENT & FISH PASS 2020. — ETUDE D'IMPACT DU PROJET DE RÉÉQUILIBRAGE DU LIT DE LA LOIRE ENTRE LES PONTS-DE-CÉ ET NANTES – PHASE 1 - LIVRET – MILIEU BIOLOGIQUE p. 438.
- THOMPSON S.K. 2002. — *Sampling - Second edition*. New York, John Wiley & Sons. xvii + 367 p. (Wiley series in probability and statistics).



9. Annexe 1

La tableau ci-dessous reprend les abondances estimées en nombre d'individus par quadrat dans chacune des placettes étudiées, avec l'intervalle de confiance à 95 % estimé à l'aide de technique bootstrap ; n = nombre de quadrats.

Nom du site	Station	Placette	n	Unionidae	<i>Unio crassus</i>	<i>Unio manicus</i>	<i>Anodonta anatina</i>	<i>Anodonta cygnea</i>	<i>Sinanodonta woodiana</i>	<i>Potomida littoralis</i>
Cul-de-Bœuf		CdB_190_AMONT	30							0,03 (0;0,1)
Cul-de-Bœuf		CdB_191_AVAL	30			0,03 (0;0,1)				0,03 (0;0,1)
Cul-de-Bœuf		CdB_193_AVAL	30	0						
Cul-de-Bœuf		CdB_194_AVAL	30						0,03 (0;0,1)	
Cul-de-Bœuf		CdB_195_AVAL	30	0						
Neuve-Macrière		NM_75_AMONT	30	0						
Neuve-Macrière		NM_76RG_AMONT	30							
Neuve-Macrière		NM_77_RG_AMONT	30						0,03 (0;0,1)	
Neuve-Macrière		NM_78_AMONT	30	0						
Neuve-Macrière		NM_79_AMONT	30	0						
Site A	S06	S06_14_AMONT	30	0						
Site A	S06	S06_14_AVAL	30	0						
Site A	S06	S06_15_AMONT	30	0						
Site A	S06	S06_15_AVAL	30	0						
Site A	S06	S06_16_AVAL	30	0						
Site A	S07	S07_11_AMONT	30		0,03 (0;0,1)					0,23 (0,07;0,43)
Site A	S07	S07_11_AVAL	30		0,03 (0;0,1)					0,43 (0,13;1,56)
Site A	S07	S07_12_AMONT	30		0,07 (0;0,17)		0,03 (0;0,1)			0,03 (0;0,1)
Site A	S07	S07_12_AVAL	30				0,03 (0;0,1)			0,07 (0, 0,13)
Site A	S07	S07_13_AVAL	30				0,03 (0;0,1)			0,07 (0, 0,2)
Site A	S08	S08_08_AMONT	30	0						
Site A	S08	S08_08_AVAL	30				0,07 (0;0,17)			0,03 (0;0,1)
Site A	S08	S08_09_AMONT	30							0,03 (0;0,1)
Site A	S08	S08_09_AVAL	30				0,03 (0;0,1)			0,07 (0;0,17)
Site A	S08	S08_10_AMONT	14							0,29 (0;0,57)
Site A	S09	S09_05_AMONT	30							0,13 (0;0,33)
Site A	S09	S09_05_AVAL	30							0,13 (0,03;0,27)
Site A	S09	S09_06_AMONT	30						0,03 (0;0,1)	0,13 (0;0,52)
Site A	S09	S09_06_AVAL	30							0,07 (0;0,17)
Site A	S09	S09_07_AMONTAval	30				0,03 (0;0,1)			
Site A	S10	S10_02_AMONT	15	0						
Site A	S10	S10_02_AVAL	15	0						
Site A	S10	S10_03_AVAL	30			0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)		0,03 (0;0,1)	2,1 (1,21;3,43)
Site A	S10	S10_04_AMONT	15		0,13 (0;0,33)				0,07 (0;0,19)	1,6 (0,8;2,73)
Site A	S10	S10_04_AVAL	15		0,2 (0;0,4)	0,53 (0,2;0,87)				0,93 (0,47;1,27)
Site B	S16	S16_56_AMONT	30	0						
Site B	S16	S16_56_AVAL	30	0						
Site B	S16	S16_57_AMONT	30	0						
Site B	S16	S16_57_AVAL	30	0						
Site B	S16	S16_58_AMONT	30	0						
Site B	S17	S17_53_AMONT	30	0						
Site B	S17	S17_53_AVAL	30	0						
Site B	S17	S17_54_AMONT	30	0						
Site B	S17	S17_54_AVAL	30	0						
Site B	S17	S17_55_AMONT	30	0						
Site B	S18	S18_50_AMONT	30				0,1 (0;0,2)		0,03 (0;0,1)	0,27 (0,1;0,4)
Site B	S18	S18_50_AVAL	30						0,17 (0;0,4)	
Site B	S18	S18_51_AVAL	30				0,03 (0;0,1)		0,03 (0;0,1)	
Site B	S18	S18_52_AMONT	30						0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)
Site B	S19	S19_47_AMONT	30							0,1 (0;0,2)
Site B	S19	S19_47_AVAL	30						0,03 (0;0,1)	0,2 (0,03;0,43)
Site B	S19	S19_48_AMONT	30						0,07 (0;0,17)	0,1 (0;0,3)
Site B	S19	S19_48_AVAL	30		0,07 (0; 0,2)	0,03 (0;0,1)		0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)	0,27 (0,07;0,6)
Site B	S19	S19_49_AMONT	30					0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)	0,17 (0,03;0,37)
Site B	S20	S20_45_AMONT	30		0,03 (0;0,1)					
Site B	S20	S20_45_AVAL	30	0						
Site B	S20	S20_46_AMONT	30	0						
Site B	S20	S20_46_AVAL	30							0,03 (0;0,1)
Site B	S20	S20_47_AMONT	30	0						
Site controle amont A	S01	S01_29_AMONT	10		0,2 (0;0,4)				0,1 (0;0,3)	0,3 (0;0,5)
Site controle amont A	S01	S01_29_AVAL	30		0,03 (0;0,1)					0,13 (0;0,49)
Site controle amont A	S01	S01_30_AMONT	15		0,2 (0;0,53)	0,2 (0;0,4)				0,6 (0,2;1,0)
Site controle amont A	S01	S01_30_AVAL	15							0,13 (0;0,27)
Site controle amont A	S01	S01_31_AMONT	15							0,27 (0;0,60)
Site controle amont A	S02	S02_26_AMONT	30	0						
Site controle amont A	S02	S02_26_AVAL	30			0,03 (0;0,1)				0,07 (0;0,17)
Site controle amont A	S02	S02_27_AMONT	30		0,07 (0;0,17)					0,1 (0;0,3)
Site controle amont A	S02	S02_27_AVAL	30	0						
Site controle amont A	S02	S02_28_AMONT	30		0,03 (0;0,1)					
Site controle amont A	S03	S03_23_AMONT	30							0,03 (0;0,1)



Rééquilibrage de la Loire entre les Ponts-de-Cé et Nantes - Étude malacologique - Suivis 2021
 Conservatoire d'espaces naturels des Pays-de-Loire
 Rapport d'étude

Nom du site	Station	Placette	n	Unionidae	Unio crassus	Unio mancus	Anodonta anatina	Anodonta cygnea	Sinanodonta woodiana	Potomida littoralis
Site controle amont A	S03	S03_23_AVAL	30	0						
Site controle amont A	S03	S03_24_AMONT	30							0,03 (0;0,1)
Site controle amont A	S03	S03_24_AVAL	25							0,04 (0;0,12)
Site controle amont A	S03	S03_25_AVAL	30							0,03 (0;0,1)
Site controle amont A	S04	S04_20_AMONT	30	0						
Site controle amont A	S04	S04_20_AVAL	30				0,03 (0;0,1)			
Site controle amont A	S04	S04_21_AMONT	30							0,03 (0;0,1)
Site controle amont A	S04	S04_21_AVAL	30		0,03 (0;0,1)					
Site controle amont A	S04	S04_22_AMONT	30	0						
Site controle amont A	S05	S05_17_AMONT	30							0,2 (0,07;0,4)
Site controle amont A	S05	S05_17_AVAL	30		0,03 (0;0,1)					0,03 (0;0,1)
Site controle amont A	S05	S05_18_AMONT	30							0,33 (0,13;0,63)
Site controle amont A	S05	S05_18_AVAL	30							0,13 (0,03;0,23)
Site controle amont A	S05	S05_19_AVAL	30							0,07 (0;0,17)
Site controle aval A et B	S21	S21_32_AMONT	30	0						
Site controle aval A et B	S21	S21_32_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S21	S21_33_AMONT	30	0						
Site controle aval A et B	S21	S21_33_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S21	S21_34_AMONT	30	0						
Site controle aval A et B	S22	S22_35_AMONT	30				0,03 (0;0,1)		0,07 (0;0,2)	0,03 (0;0,1)
Site controle aval A et B	S22	S22_35_AVAL	30						0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)
Site controle aval A et B	S22	S22_36_AMONT	30						0,13 (0;0,33)	
Site controle aval A et B	S22	S22_36_AVAL	30		0,03 (0;0,1)				0,1 (0;0,3)	0,03 (0;0,1)
Site controle aval A et B	S22	S22_37_AMONT	25						0,04 (0;0,12)	
Site controle aval A et B	S23	S23_38_AMONT	30			0,03 (0;0,1)			0,07 (0;0,13)	0,07 (0;0,17)
Site controle aval A et B	S23	S23_38_AVAL	30			0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)		0,17 (0,03;0,37)	0,03 (0;0,1)
Site controle aval A et B	S23	S23_39_AMONT	30						0,13 (0;0,33)	0,07 (0;0,17)
Site controle aval A et B	S23	S23_39_AVAL	30						0,1 (0;0,2)	0,1 (0;0,33)
Site controle aval A et B	S23	S23_40_AVAL	30						0,07 (0;0,17)	0,43 (0,13;0,90)
Site controle aval A et B	S24	S24_41_AMONT	30						0,07 (0;0,17)	
Site controle aval A et B	S24	S24_41_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S24	S24_42_AMONT	30						0,07 (0;0,17)	
Site controle aval A et B	S24	S24_42_AVAL	30				0,07 (0;0,17)			0,07 (0;0,2)
Site controle aval A et B	S24	S24_43_AMONT	30						0,07 (0;0,17)	
Site controle aval A et B	S25	S25_X5_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S27	S25_X3_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S28	S25_X4_AMONT	30	0						
Site controle aval A et B	S29	S25_X1_AVAL	30	0						
Site controle aval A et B	S30	S25_X2_AMONT	30	0						
Site controle entre A et B	S11	S11_72_AMONT	30							0,03 (0;0,07)
Site controle entre A et B	S11	S11_72_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S11	S11_73_AMONT	30				0,03 (0;0,1)			0,13 (0,03;0,26)
Site controle entre A et B	S11	S11_73_AVAL	30							0,1 (0;0,27)
Site controle entre A et B	S11	S11_74_AVAL	30							0,1 (0;0,2)
Site controle entre A et B	S12	S12_69_AMONT	30		0,03 (0;0,1)					0,17 (0,03;0,43)
Site controle entre A et B	S12	S12_69_AVAL	30							0,1 (0;0,2)
Site controle entre A et B	S12	S12_70_AMONT	30				0,03 (0;0,1)			0,5 (0,1;1,19)
Site controle entre A et B	S12	S12_70_AVAL	30			0,03 (0;0,1)				0,77 (0,3;1,3)
Site controle entre A et B	S12	S12_71_AVAL	30			0,03 (0;0,1)				0,3 (0,1;0,67)
Site controle entre A et B	S13	S13_66_AMONT	30	0						
Site controle entre A et B	S13	S13_66_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S13	S13_67_AMONT	30	0						
Site controle entre A et B	S13	S13_67_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S13	S13_68_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S14	S14_63_AMONT	30				0,03 (0;0,1)			0,03 (0;0,1)
Site controle entre A et B	S14	S14_63_AVAL	30				0,03 (0;0,1)		0,03 (0;0,1)	
Site controle entre A et B	S14	S14_64_AMONT	30							0,03 (0;0,1)
Site controle entre A et B	S14	S14_64_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S14	S14_65_AMONT	30	0						
Site controle entre A et B	S15	S15_59_AMONT	30			0,03 (0;0,1)			0,03 (0;0,1)	
Site controle entre A et B	S15	S15_59_AVAL	30	0						
Site controle entre A et B	S15	S15_60_AMONT	30	0						
Site controle entre A et B	S15	S15_60_AVAL	30			0,03 (0;0,1)	0,03 (0;0,1)			
Site controle entre A et B	S15	S15_61_AVAL	30			0,03 (0;0,1)			0,07 (0;0,17)	0,1 (0;0,23)