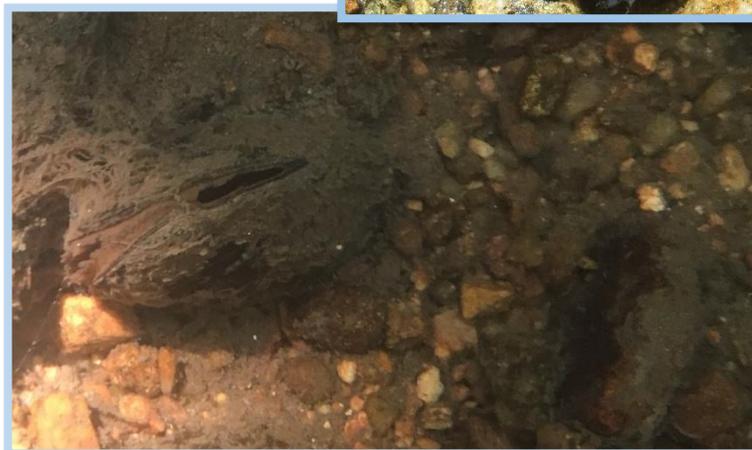
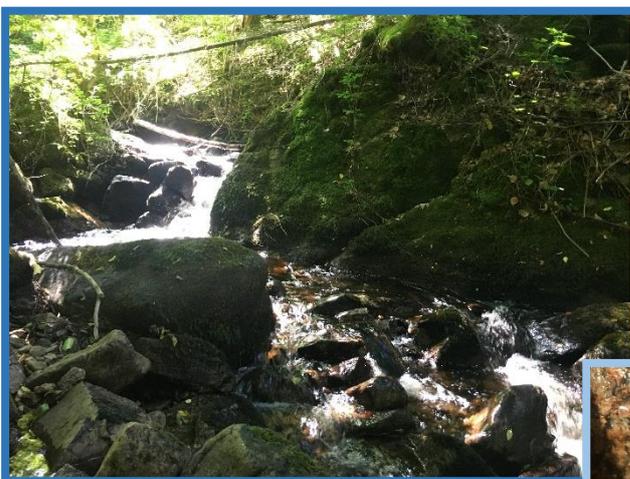


LP ATIB,  
2017-2018.

## La moule perlière, *Margaritifera margaritifera*, sur le Barbenan :

Sa répartition et ses préférences d'habitats dans le cadre de mesures de restauration de la continuité écologique.



Anaëlle CELLIER

Tuteur pédagogique : Emilien LUQUET, L.E.H.N.A UCBL I

Tuteur d'entreprise : Mickaël LELIEVRE, FDAPPMA de l'Allier

## La moule perlière sur le Barbenan : sa répartition et ses préférences d'habitats dans le cadre de mesures de restauration de la continuité écologique.

### Etude réalisée par :



Fédération départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux  
Aquatique de l'Allier – FDPPMA 03

### Prospection, traitement des données et rédaction :

Anaëlle CELLIER – *Stagiaire*

### Tuteur d'entreprise :

Mickaël LELIEVRE – *Directeur*

### Tuteur universitaire :

Emilien LUQUET - *LENHA, CNRS-UMR, Université Claude Bernard Lyon 1*

### Co-encadrement :

Sylvain VRIGNAUD – *Malacologue indépendant et spécialiste régional des naïades*

### Personnes intervenues :

Céline GOMBERT – *Technicienne FDPPMA03*

Pierre MAREY – *Technicien FDPPMA03*

Maxime NIGOT – *Stagiaire FDPPMA03*

### Date de réalisation :

Août 2018

### Crédits photographiques :

1ère de couverture : ©Anaëlle CELLIER

Dans le rapport : l'auteur ou la source est citée dans la légende

### Citation recommandée :

Cellier A., 2018. *La moule perlière sur le Barbenan : Sa répartition et ses préférences d'habitat dans le cadre de mesures de restauration de la continuité écologique*. Rapport de stage LP ATIB. FDPPMA03, 50p.

# REMERCIEMENTS

---

Je tiens tout d'abord à remercier Gérard GUINOT, président de la fédération de l'Allier, pour m'avoir accueillie dans sa structure. Cela m'a permis d'acquérir des connaissances et des compétences très professionnalisantes.

Je remercie également Mickaël LELIEVRE, mon tuteur d'entreprise qui a su m'apporter conseils et connaissances tout au long de mon stage.

Emilien LUQUET, mon tuteur pédagogique, a pris le temps de me conseiller sur ce stage. Son partage de connaissances scientifiques m'a été utile tout au long de mon stage. Je tiens à le remercier pour son aide apportée pour l'accomplissement de ma mission.

Conseillée et soutenue par Sylvain VRIGNAUD, je tiens à le remercier particulièrement pour son soutien pour la préparation du travail de terrain et des analyses. Sa réactivité et son partage de connaissances ont été particulièrement appréciables.

Je suis reconnaissante à tous les salariés/stagiaire qui ont eu le courage et la motivation de m'accompagner sur le terrain et partager leurs connaissances : Céline GOMBERT, Pierre MAREY et Maxime NIGOT.

Un remerciement particulier à Céline pour avoir eu la patience de m'expliquer les choses et de me corriger. Merci de m'avoir permis de t'accompagner sur le terrain, notamment pour les sorties nocturnes pour les inventaires d'écrevisses à pieds blancs.

Un grand merci à l'équipe salariée de la fédération pour son accueil chaleureux : Nathalie BEAL, Marc BOURDEAUX, Vincent GUILLAUMIN et Emmanuel BIZEL.

Je souhaiterais finalement remercier toutes les personnes m'ayant conseillée et encouragée au cours de ma formation. Un grand merci à l'ensemble de l'équipe pédagogique de la licence professionnelle ATIB pour avoir partagé leur positivisme et leurs connaissances avec générosité.

## Table des matières

I.	Introduction.....	8
II.	Contexte .....	9
1.	Structure d'accueil : la FDPPMA 03.....	9
2.	Site d'étude : le Barbenan.....	9
a.	Présentation générale .....	9
b.	Actions de restauration réalisées .....	10
3.	La moule perlière .....	12
a.	Systématique et description.....	12
b.	Distribution .....	12
c.	Cycle de vie et exigences .....	13
d.	Menaces.....	14
e.	Outils de protection et de conservation .....	15
III.	Matériels et méthodes.....	16
1.	Etude de la répartition de la moule perlière sur le Barbenan .....	16
2.	Caractérisation des habitats et des menaces potentielles .....	17
a.	Relevés physiques et du biofilm .....	17
b.	Analyses statistiques.....	18
c.	Analyses physico-chimiques .....	18
3.	Suivi des moules déplacées.....	19
4.	Suivi de l'arasement d'un seuil : la Féculerie .....	19
IV.	Résultats.....	19
1.	La répartition de la moule perlière sur le Barbenan .....	19
2.	Habitats et menaces potentielles.....	20
a.	La granulométrie .....	20



- b. Les faciès d'écoulement..... 22
- c. Le biofilm ..... 23
- d. Facteurs influençant la répartition de la moule perlière..... 23
- e. L'effet des seuils sur la moule perlière ..... 25
- f. Les analyses physico-chimiques ..... 26
- 3. Suivi des moules déplacées ..... 27
- 4. Suivi de l'arasement d'un seuil : la Féculerie ..... 28
- V. Discussion ..... 29
  - 1. La répartition de la mulette perlière..... 29
  - 2. Les habitats et les menaces..... 29
  - 3. Le suivi des mulettes perlières à Beaulieu ..... 30
  - 4. Mesures de gestion associées à la mulette..... 30
- VI. Conclusion ..... 32
- VII. Références..... 33
  - 1. Sitographie ..... 33
  - 2. Bibliographie ..... 34
- VIII. Annexes ..... 37

## Table des illustrations

### ■ FIGURES

Figure 1 : Carte géologique de l'Allier avec localisation du Barbenan et son bassin versant... 9	9
Figure 2 : Moyenne du débit mensuel du Barbenan sur 52 ans (eau.france.fr) ..... 10	10
Figure 3 : Description de la moule perlière..... 12	12
Figure 4 : Cycle de vie de la moule perlière. (PLK) ..... 13	13
Figure 5 : Bathyscope ..... 16	16
Figure 6 : Schéma de la méthode d'observation des prospections. (Modifié d'après VRIGNAUD,2016)..... 16	16
Figure 7 : Recouvrement granulométrique par tronçon de la confluence (0) à l'amont..... 21	21
Figure 8 : Recouvrement par faciès par tronçon de la confluence (0) à l'amont ..... 22	22
Figure 9 : Recouvrement du biofilm par tronçon de la confluence (0) à l'amont..... 23	23
Figure 10 : Représentation de la probabilité de présence de la moule perlière en fonction de la distance à l'exutoire en kilomètre. .... 24	24
Figure 11 : Représentation de la probabilité de présence de la moule perlière par rapport à la distance au seuil jusqu'à 50 mètres en amont avec l'intervalle de confiance représenté..... 25	25
Figure 12 : Moule perlière n°103, Beaulieu, 2018 ..... 27	27
Figure 13 : Moule perlière n°104, Beaulieu, 2018 ..... 27	27
Figure 14 : Profil en long, niveau d'eau et tendance (linéaire) du Barbenan à la Féculerie : données 2017 (avant l'arasement) et 2018 (post arasement). .... 28	28
Figure 15 : Cycle de vie de la moule perlière..... 40	40
Figure 16 : Interactions entre la moule et son milieu ..... 40	40
Figure 17 : Cartes de répartition de la moule perlière..... 41	41
Figure 18 : Gabarit..... 46	46
Figure 19 : Classes de taille des sédiments ..... 46	46

## ■ TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif des tolérances aux éléments chimiques de la moule perlière (d'après <a href="http://www.life-moule-perliere.org/">www.life-moule-perliere.org/</a> ).....	14
Tableau 2 : Récapitulatif des statuts de protection et de conservation de la moule perlière	15
Tableau 3 : Classification granulométrique utilisée (Modifié d'après MALAVOI-SOUCHON 2002).....	17
Tableau 4 : Récapitulatif des moules perlières (MP) trouvées lors des prospections 2018....	20
Tableau 5 : Description des résultats par substrat et corrélation suivant la distance à l'exutoire. .....	21
Tableau 6 : Description des résultats par faciès d'écoulement et corrélation suivant la distance à l'exutoire.....	23
Tableau 7 : Description des résultats du biofilm et corrélation suivant la distance à l'exutoire .....	23
Tableau 8 : Récapitulatif des calculs pour chaque paramètre significativement lié à la distance à la confluence. ....	24
Tableau 9 : Récapitulatif des calculs pour la probabilité de présence de la moule perlière par rapport à la présence des seuils.....	25
Tableau 10 : Relevés sur le Barbenan en 2018, de l'aval à l'amont. ....	26
Tableau 11 : Relevés aux stations de température d'aval en amont. Données de la FDPPMA03. .....	26
Tableau 12 : Données de 2013 à 2016 relevées lors des pêches électriques sur le Barbenan. Données de la FDPPMA03.....	27

## ■ ANNEXES

Annexe I : Les habitats limitrophes du Barbenan .....	37
Annexe II : Extrait du code de l'environnement, L214-17.....	38
Annexe III : Récapitulatif du cycle de vie et du fonctionnement de la moule perlière .....	40
Annexe IV : Carte de répartition de la moule perlière, Plan National d'Actions pour la moule perlière, Biotope 2011 (d'après COCHET 2004 et GEIST 2005).....	41
Annexe V : Fiche de prospection de terrain, 2018.....	42
Annexe VI : Détails du matériels utilisés .....	43
Annexe VII : Carte de localisation des tronçons de prospections.....	45
Annexe VIII : Détermination de la granulométrie, Malavoi-Souchon (2002) .....	46
Annexe IX : Détermination des faciès d'écoulement, Malavoi-Souchon (2002) .....	47
Annexe X : Carte de répartition de la moule perlière sur le Barbenan.....	48
Annexe XI : Localisation des obstacles à l'écoulement et des mesures RCE .....	49
Annexe XII : Fiche de terrain pour les relevés topographique.....	50
Annexe XIII : Individus de moules trouvées lors des prospections 2018 .....	51
Annexe XIV : Carte de localisation des perturbations relevées sur les tronçons .....	52

## I. Introduction

Les écosystèmes fluviaux sont essentiels à la fois par leurs services écosystémiques et par les utilisations que nous en faisons (navigation, irrigation, énergie) (VERTIGO, 2016). En effet, leurs histoires nous montrent que les aménagements dans leurs lits ont des objectifs divers ayant menés à la construction de seuils, de barrages, de retenues.

Aujourd'hui, ces constructions sont parfois devenues obsolètes et inutiles à leur propriétaire. Elles deviennent alors des obstacles à la continuité écologique et sédimentaire des cours d'eau et en affectent la qualité physico-chimique. En Union Européenne (UE), cette baisse de qualité multi-niveaux n'est plus tolérée au point que les pays membres doivent se soumettre à la directive cadre sur l'eau (DCE, Directive 2000/60/CE). Cette dernière dicte une amélioration de la qualité écologique des cours d'eau avec l'une des mesures phares : la restauration de la continuité écologique (RCE). Votée en 2000, l'annexe V de la DCE introduit cette mesure qui est un des éléments de classification qualitative des cours d'eau.

Dans le département de l'Allier, le Barbenan est une rivière d'importance majeure. En effet, deux espèces patrimoniales sont présentes : la truite fario et la moule perlière. Elles sont protégées nationalement et menacées (respectivement : Arrêté du 8 décembre 1988 ; Arrêté du 23 avril 2007). Elles sont toutes deux de très bons indicateurs de la qualité des cours d'eau. Cependant, le Barbenan est entrecoupé de 24 obstacles à la continuité écologique (carmen.naturefrance.fr). La fédération départementale de la pêche et de la protection des milieux aquatiques de l'Allier (FDPPMA03) a souhaité s'investir afin d'améliorer la qualité écologique de ce cours d'eau et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques. En 2017, 3 seuils ont été arasés, en partie avec le financement de la FDPPMA03.

Des prospections ont été menées lors de l'étude préalable aux travaux révélant la présence de mulettes perlières vivantes. En vue d'arasements futurs, la FDPPMA03 a souhaité mieux connaître la présence et la répartition de cette espèce et mieux cerner ses habitats préférentiels à travers cette présente étude.

## II. Contexte

### 1. Structure d'accueil : la FDPPMA 03

La FDPPMA 03 est une association loi 1901. Déclarée à la préfecture le 21 octobre 1941, la fédération est un établissement d'utilité publique. Elle regroupe 41 Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (AAPPMA), ainsi que l'association départementale des pêcheurs amateurs aux engins et filets sur les eaux du domaine public.

Au niveau national, la fédération est adhérente à la Fédération Nationale de la Pêche en France (FNPF).

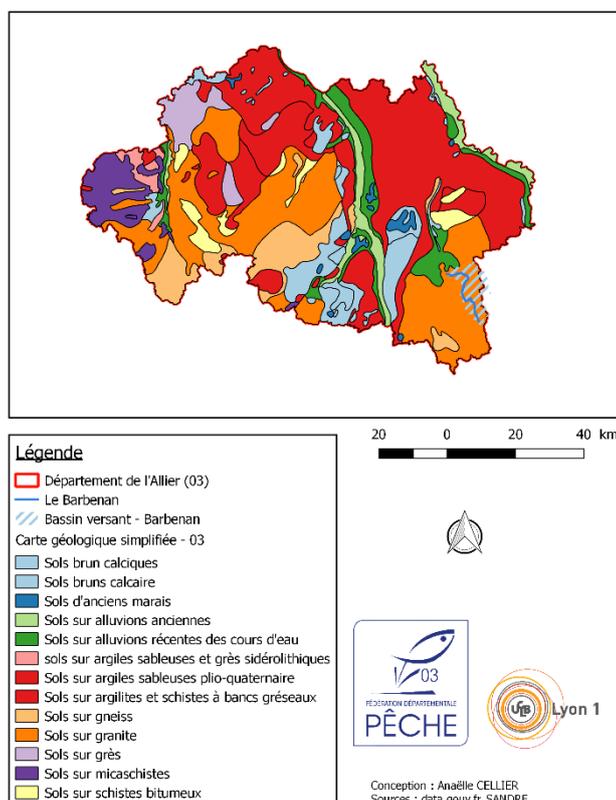
La FDPPMA 03 a deux missions principales :

- ✓ La protection et la mise en valeur des milieux aquatiques
- ✓ L'organisation et le développement du loisir pêche.

C'est dans le cadre de ces missions que la FDPPMA03 s'est mobilisée pour la restauration de la continuité écologique (RCE) dans le département de l'Allier.

### 2. Site d'étude : le Barbenan

#### a. Présentation générale



Le Barbenan est un cours d'eau de 1ère catégorie piscicole, caractérisé par la présence de salmonidés. Il s'écoule en Auvergne-Rhône-Alpes, dans le département de l'Allier (03) (Figure 1). Il prend sa source dans les Monts de la Madeleine, à 980m d'altitude sur la commune de Saint-Nicolas-des-Biefs. Après s'être écoulé sur 27 kilomètres dans une zone granitique, il se jette dans la Besbre sur la localité du Breuil, à 300 mètres d'altitude. (eaufrance.fr, data.gouv.fr, geoportail.fr)

Figure 1 : Carte géologique de l'Allier avec localisation du Barbenan et son bassin versant.

Par sa situation en tête de bassin versant et d'après la zonation piscicole de Huet (1949), le Barbenan est un cours d'eau de zone à truites à zone à ombres. La truite fario (*Salmo trutta f. fario*) ainsi que la lamproie de planer (*Lampetra planeri*) sont présentes et caractérisent cette zonation.

Le bassin versant du Barbenan s'étend sur 123 km<sup>2</sup>. Il fait partie d'une seule zone hydrographique : le Barbenan et ses affluents (K152). (services.sandre.eaufrance.fr) Avec 12 affluents référencés additionnés à l'imperméabilité de son sol granitique, cette rivière est abondante en eau. Son module est de 1,88 m<sup>3</sup>/s à la

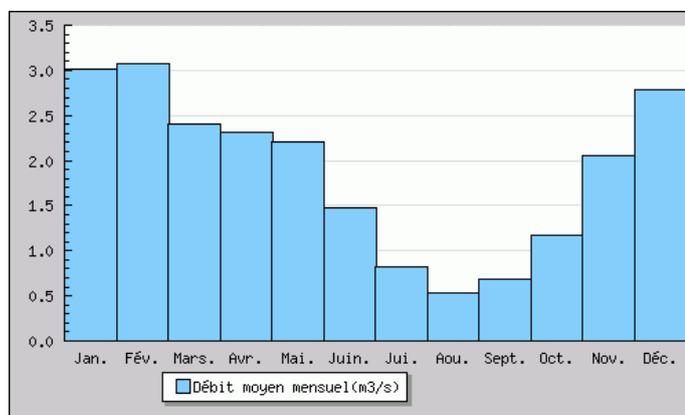


Figure 2 : Moyenne du débit mensuel du Barbenan sur 52 ans (eau.france.fr)

station du Breuil, proche de la confluence. Mesurés sur 52 ans, les débits moyens mensuels vont de 0,5 m<sup>3</sup>/s en août à 3,1 m<sup>3</sup>/s en février. (Figure 2). (eaufrance.fr) Malgré son abondance, il subit des baisses de débits sévères en été. En effet, des captages sont présents pour l'alimentation en eau potable (AEP).

Son bassin versant est composé à 56% de terres agricoles (majoritairement des pâtures), à 43,5% de forêts et milieux semi-naturels, et à 0,5% de territoires artificialisés. (services.sandre.eaufrance.fr, d'après Corine Land Cover 2006, Annexe I)

#### b. Actions de restauration réalisées

Le non-respect des objectifs de la DCE amène une pénalisation financière des états membres. Afin d'éviter cette situation, des mesures sont mises en place dans tout le pays. Elles sont en premier lieu définies par le schéma directeur d'aménagement des eaux (SDAGE). Le Barbenan est régi par le SDAGE Loire-Bretagne (SDAGE LB).

D'après ce schéma, le Barbenan est le seul cours d'eau du département de l'Allier à être classé « très bon état écologique » (TBE, services.sandre.eaufrance.fr). Les propriétaires des ouvrages doivent respecter le I.1°(paragraphe I, alinéa 1°) et le I.2°(paragraphe I, alinéa 2°) de l'article L214-17 du code de l'environnement (texte complet en annexe II). Pour cette étude, nous retiendrons : « 2° Une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans

*lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant. »*

Dans le cadre de l'application de cette loi, la FDPPMA03 s'engage et se mobilise pour la restauration de la continuité écologique (RCE) sur le Barbenan. L'association s'appuie sur une base de données créée par l'Agence Française de la Biodiversité (AFB) : le registre des obstacles à l'écoulement (ROE). Avant l'intervention de la fédération, il en existait 27. En 2017, la fédération a fait arraser 3 seuils. En effet, la majorité de ces seuils n'ont plus leur utilité, et la mise au norme et l'entretien de ces ouvrages seraient onéreux pour les propriétaires. C'est pourquoi la fédération les démarche, et finance une partie des travaux. Pour ce type d'aménagement, la FDPPMA 03 a dû rédiger une demande d'autorisation. Ces travaux font partie, d'après le code de l'environnement, article R214-1, des « *installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau -1° Sur une longueur de cours d'eau supérieur ou égale à 100m. »*

C'est à l'initiative de ces travaux et plus précisément lors de l'étude préalable que la présence de moules perlières a été mise en évidence bien que quelques données historiques de présence existaient déjà sur le Barbenan.

La présence de cette espèce protégée au niveau national oblige la FDPPMA03 à mettre en œuvre des mesures de protection de l'espèce et notamment à effectuer des prospections sur la zone directement impactée par l'arasement du seuil. Ces mesures peuvent même aller jusqu'à des opérations de déplacements des individus potentiellement impactés par les travaux.

Le Barbenan est donc un cours d'eau avec deux enjeux pour cette étude : restauration de la continuité écologique dans le cadre de la DCE et de la moule perlière.

### 3. La moule perlière

Un récapitulatif de la présentation de la moule perlière est présenté en annexe III.

#### a. Systématique et description

La moule (ou mulette) perlière, *Margaritifera margaritifera*, est un mollusque **bivalve** de la famille des **Margaritiferidae**. Cette espèce fait partie du groupe des **naïades** qui inclut aussi la famille des Unionidae. Ces dernières sont mentionnées comme **espèces ingénieuses** par certains auteurs tant elles façonnent leurs habitats. (Gutiérrez et al., 2003 ; Spooner et

Vaughn, 2006 ; Vaughn et al., 2008 ; Strayer, 2014)

Sa coquille peut atteindre jusqu'à **16 cm** dans les pays scandinaves. (Cochet, 2010) Elle se différencie de *Margaritifera auricularia* (la Grande Mulette, l'autre margaritiferidae présent en France) par la lamelle postérieure qui se présente sous la forme d'un rebord. Le **péριοstracum** est noirâtre mat (excepté chez les jeunes où il est clair), et ponctué de **stries de croissance**.

L'**umbo** est souvent érodé, et n'est pas proéminent. Il n'y a pas de dimorphisme sexuel. (VRIGNAUD, 2007) (Figure 3)

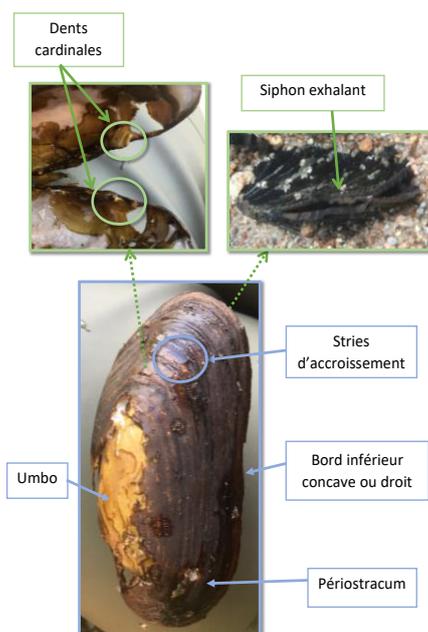


Figure 3 : Description de la moule perlière.  
 Crédit photo : Anaëlle CELLIER

#### b. Distribution

Sa répartition mondiale couvre la Russie jusqu'à la façade est des États-Unis, incluant l'Europe et le Canada. (inpn.mnhn.fr)

Elle n'est présente que dans les **massifs cristallins**, en France : le massif central, le massif armoricain, le Morvan, les Vosges et les Pyrénées. (inpn.mnhn.fr, Annexe IV)

On recense 37 cours d'eau avec des données de présence historique. Cependant, actuellement, **seuls 15 à 20 cours d'eau** possèderaient encore des individus. (Samuel ESNOUF, comm. pers.), dont seulement 3 dans le département de l'Allier : l'Andan, le Barbenan et l'Arnon (ESNOUF S., 2018). En l'absence d'étude spécifique, ces données sont ponctuelles et relativement anciennes pour certaines.

## c. Cycle de vie et exigences

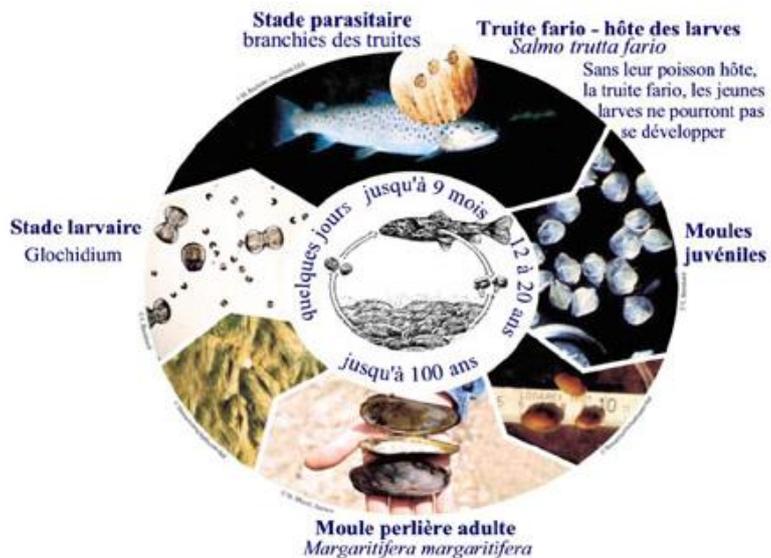


Figure 4 : Cycle de vie de la moule perlière. (PLK)

Le cycle de vie de *Margaritifera margaritifera* est complexe. Vers la fin août, les mâles relâchent des spermatozoïdes dans l'eau, qui sont transportés par le courant et filtrés par les femelles. Les ovules des femelles sont alors fécondés. (Cochet, 2010) Quelques semaines plus tard, les embryons se sont transformés en **glochidies** de 50 à 60 micro-mètres ( $\mu\text{m}$ ), (Cochet, 2010) qui sont relâchées dans le courant. Dans de bonnes conditions, les glochidies peuvent dériver jusqu'à 6 jours avant de se fixer aux branchies d'un jeune **salmonidé** (Cochet, 2010). Après la fixation, la glochidie s'**enkyste** afin de débiter une phase parasitaire. En Europe, la moule perlière ne peut parasiter que deux espèces de salmonidés : la **truite fario** (*Salmo trutta f. fario*), et le **saumon atlantique** (*Salmo salar*). Les autres espèces de poissons possèdent une immunité innée ne permettant pas l'enkystement nécessaire. (BAUER, 1987)

Les relations entre la moule et son poisson-hôte sont particulières. En effet, les glochidies peuvent occasionner une gêne pour leur poisson-hôte si elles sont trop nombreuses (FILIPSSON et al., 2016). Toutefois, lorsque les moules deviennent adultes, par la filtration, elles participent à l'amélioration de la qualité d'eau, et offrent des conditions favorables pour de nombreux macro-invertébrés (micro-habitat, pseudofecès), (Vaughn, 2016), permettant une amélioration de l'habitat de leurs hôtes. Cette relation interspécifique est qualifiée de **symbiose proto-coopérative** par ZIUGANOV & NEZLIN (1998).

La moule s'implante dans des faciès courants, avec une granulométrie de gravillonneuse à sableuse avec des blocs. (Cochet, 2010) Pour se nourrir, les individus filtrent les éléments organiques à raison de **50 litres d'eau par jour**. (Cochet, 2010 + Figure 4)

Au stade d'enkystement sur les branchies des salmonidés, deux types de cycles, apparemment définis génétiquement, sont rencontrés (Cochet, 2010) :

- Un cycle court avec une période d'incubation de 20 et 60 jours,
- Un cycle long, avec une période de 7 et 9 mois (après un repos hivernal).

Après le décrochement de l'hôte, les jeunes moules s'enfouissent de 5 à 50 cm dans un substrat favorable (sable grossier) pour grandir pendant 2 à 5 ans (Cochet, 2010). Des mulettes de 2 à 3 cm apparaissent alors au fond du cours d'eau. Elles devront encore attendre entre 10 à 20 ans pour se reproduire, et pourront vivre de 40 ans à plus de 200 ans selon leur latitude. (Schone et al, 2004)

Pour l'accomplissement de son cycle de vie, la bonne circulation de l'eau dans les sédiments est indispensable pour les juvéniles situés dans ce milieu. Les apports de sédiments fins ainsi que la charge en nutriments favorisent le colmatage physique et biologique des sédiments menant à l'asphyxie des jeunes individus. (Buddensiek, 1993) La moule perlière a de **fortes exigences** en termes de qualité d'eau. Ses tolérances pour certains éléments chimiques sont restreintes. (Tableau 1)

Tableau 1 : Récapitulatif des tolérances aux éléments chimiques de la moule perlière (d'après [www.life-moule-perliere.org/](http://www.life-moule-perliere.org/))

Paramètres	Auteurs	Bauer (1988)	Oliver (2000)	Moorkens (2000)	Degerman et al. (2009)	Varandas et al. (2013)
		<i>Europe centrale</i>	<i>Écosse</i>	<i>Irlande</i>	<i>Suède</i>	<i>Portugal</i>
Nitrates N-NO <sub>3</sub> (mg/L) *		<0,5	<1	< 1,7	<0,1	< 2
Ammonium N-NH <sub>3</sub> (mg/L)		/	/	< 0,1	/	< 0,1
Orthophosphates P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)		< 0,03	<0,03	< 0,06	<0,0015	< 0,1
Conductivité (µS/cm)		/	/	< 200 (à 25°C)	/	< 40 (à 25°C)
O <sub>2</sub> dissous (% sat ou mg/L)		/	90-110 %	> 9 mg/L	/	> 9 mg/L
pH		< 7,5	6,5 - 7,2	6,3 - 8	Min 6,2	< 7
DBO5 (mg/L)		~ 1,4	<1,3	< 3	/	< 1,5
Carbonate de calcium CaCO <sub>3</sub> (mg/L)		~ 2	< 10	Pauvre en Calcium	/	/
Température (°C)		/	/	Pas de changements artificiels	<25	<23

#### d. Menaces

La présence d'adultes ne témoigne pas toujours d'un environnement favorable à la survie des juvéniles, et donc au recrutement. Un individu ne bougeant pas ou peu pendant sa longue

durée de vie peut voir son milieu proche se modifier sans mettre sa survie en péril. La tolérance vis-à-vis des habitats par les adultes est plus grande que celle des juvéniles.

Les altérations d'habitats les plus courantes sont le colmatage des sédiments et les pollutions chimiques. (Cochet, 2010)

La baisse de densité des populations de poissons-hôtes est aussi un facteur de déclin identifié des populations. (Arvidsson et al., 2012)

#### e. Outils de protection et de conservation

La moule perlière est mentionnée dans la convention de Berne de 1979, et dans les annexes II, IV et V de la directive 92/43/CEE dite « Directive Habitat Faune Flore (DHFF) ». Ces engagements amènent les pays signataires, dont la France, à mettre en place des politiques de protection de l'espèce. C'est pourquoi la France, par l'arrêté du 23 avril 2007, protège intégralement la moule perlière et son habitat sur son territoire national.

En plus de ce statut de protection, la moule perlière fait partie des espèces déterminantes pour les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF).

Elle est par ailleurs considérée comme étant en danger critique d'extinction sur la liste rouge européenne, et en danger pour la liste rouge mondiale de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). (Tableau 2)

En France, la moule perlière bénéficie d'un plan d'action national (PNA) dont la déclinaison régionale (PRA) vise notamment à la circulation de l'information aux seins des réseaux d'acteurs concernés, mais aussi à la mise en place d'actions en sa faveur. (ESNOUF S., animateur PRA moule perlière, comm. pers.).

Tableau 2 : Récapitulatif des statuts de protection et de conservation de la moule perlière

	Mondial	Européen	National
Statut (UICN)	En danger <b>(EN)</b>	En danger critique <b>(CR)</b>	/
Outils de protection	<b>Convention de Berne (1979)</b> : listée en annexe III, espèces faunistiques protégées	<b>Directive Habitat-Faune-Flore (1992)</b> : <u>Annexe II</u> : listes des espèces à intérêt communautaires <u>Annexe IV</u> : espèces nécessitant une protection stricte <u>Annexe V</u> : espèces auxquelles les prélèvements ne doivent pas nuire	<b>Arrêté du 23 avril 2007</b> : Listes des espèces de mollusques protégées

### III. Matériels et méthodes

Les fiches de terrains et le détail du matériel utilisés figurent en annexe V et VI.

#### 1. Etude de la répartition de la moule perlière sur le Barbenan

L'objectif de l'étude est de connaître la répartition de la moule perlière sur le Barbenan. Un inventaire complet du cours d'eau n'est pas envisageable faute de moyens. C'est pourquoi, le choix est fait de se concentrer sur les 24 kilomètres aval. En effet, les moules perlières ne sont pas (ou peu) présentes à proximité de la source car l'apport en nutriments est trop faible. (Samuel ESNOUF, comm. pers.)

En fonction du temps de prospection disponible, il est choisi d'effectuer des transects de 20 mètres tous les 330 mètres. Le point de départ est situé au niveau de la confluence du Barbenan avec la Besbre. La méthode choisie permet de prospecter environ 6% du Barbenan.

La segmentation du cours d'eau se fait à l'aide d'un outil de système d'information géographique (SIG) : QGIS. Les points de départ sont localisés et utilisés lors de la phase de terrain. (Annexe VII)

Les prospections ont été pratiquées dans des conditions optimales (ciel dégagé, cours d'eau à l'étiage) permettant une vision sub-aquatique aisée.



Figure 5 : Bathyscope

(<http://seamarknunn.com>)

Les prospections se font à deux opérateurs, à l'aide de bathyscopes (Figure 5). Le cours d'eau est divisé en deux dans sa largeur. Chacune des personnes prospecte une moitié en zigzagant dans le cours d'eau d'aval en amont. Cette méthode de zigzag est considérée comme la plus efficace dans un cours d'eau de faible profondeur. (Mannfield, 2015, Figure 6)

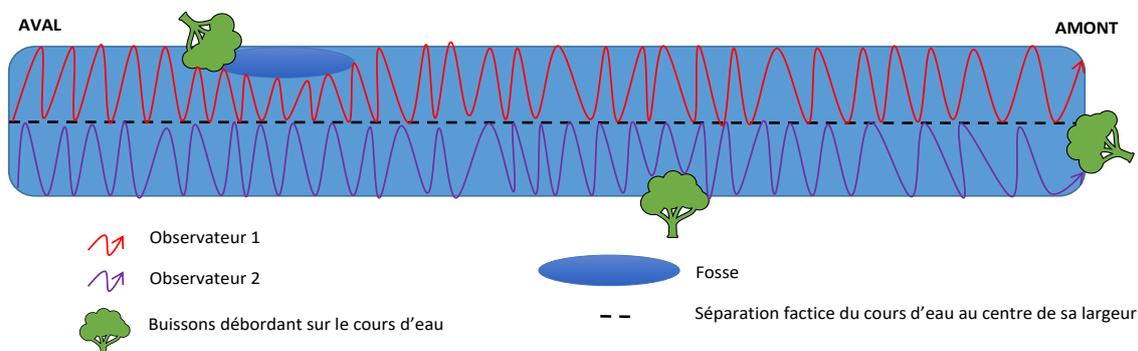


Figure 6 : Schéma de la méthode d'observation des prospections. (Modifié d'après VRIGNAUD, 2016)

Lorsque la présence de moule est relevée, les individus sont alors dénombrés et localisés (GPS). N'ayant pas eu d'autorisation de capture temporaire, les classes de tailles ont été estimées de visu et suivant la partie émergée du substrat suivant 3 catégories : de **0 à 3 cm** correspondant à des jeunes individus normalement dans le substrat ou venant d'en émerger, **de 3 à 6 cm** soit potentiellement de jeunes adultes et **plus de 6 cm**. Il est à noter qu'il n'existe pas de courbe de croissance de référence élaborée dans le secteur d'étude (Vrignaud, comm. pers.)

## 2. Caractérisation des habitats et des menaces potentielles

### a. Relevés physiques et du biofilm

Pour chaque tronçon, des données d'habitats sont relevées. Le premier paramètre est : **la granulométrie**. Ce paramètre est basé sur le protocole de Malavoi-Souchon (2002) (annexe VIII). Cependant, le classement de taille est simplifié, car un tel niveau de détail n'est pas nécessaire pour une étude sur la moule perlière. En effet, pour une catégorie différente et proche dans le protocole standardisé, le substrat a le même impact (VRIGNAUD, comm. pers.). Afin de simplifier, le choix a été fait de regrouper certaines catégories pour en faire cinq : **limon, sable, gravier, bloc, dalle**. (Tableau 3) Pour chaque tronçon, le pourcentage de recouvrement par substrat est noté.

Tableau 3 : Classification granulométrique utilisée (Modifié d'après MALAVOI-SOUCHON 2002)

Nom de la classe granulométrique (Malavoi-Souchon)	Rocher (dalle)	Bloc	Pierre grossière	Pierre fine	Cailloux grossier	Cailloux fin	Gravier grossier	Gravier fin	Sable grossier	Sable fin	Limon	Argiles
Classe de taille (mm)	>1024	256-1024	128-256	64-128	32-64	16-32	08-16	02-08	0,5-2	0,0625-0,5	0,0039-0,0625	<0,0039
Code utilisé (Malavoi-Souchon)	R	B	PG	PF	CG	CF	GG	GF	SG	SF	L	A
Code utilisé dans ce protocole	Dalle	Bloc			Gravier				Sable		Limon	

Toujours selon Malavoi-Souchon (2002), **les faciès d'écoulement** sont déterminés selon leur profondeur, leur courant, leur profil en travers et en long. (Annexe IX) Pour chaque tronçon de 20 mètres, un pourcentage de recouvrement est donné par faciès.

Enfin, le **biofilm** (ou périphyton) est estimé sur la même base que l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière : absent, peu abondant (substrat légèrement recouvert), abondant (substrat recouvert partiellement), très abondant (distinction de la couleur du substrat

impossible). (cf. IRSTEA/GIS Macrophytes des eaux continentales). Ce paramètre permet de savoir si la matière organique est présente, d'estimer approximativement sa quantité.

#### b. Analyses statistiques

Tous ces éléments sont ensuite analysés **statistiquement** afin de déterminer leur répartition sur le linéaire, ainsi que leur significativité. Pour cela, un test de corrélation est fait grâce au logiciel R. Le seuil de significativité des différents tests est classiquement arrêté à (potentialité)  **$p \leq 0,05$** .

Les dernières données sont calculées en fonction de la distance à la confluence. L'ordonnée à l'origine est calculée, plus ou moins l'intervalle de confiance, ainsi que le coefficient directeur. Enfin, un pourcentage de variance expliquée est fait.

Les données antérieures (FDPPMA03 (2017 et 2018), Gilbert COCHET (2010), AFB, CEN Auvergne, Annexe V) ont été intégrées et des variables environnementales ont été attribuées en cas de significativité de la répartition de cette même variable suivant le linéaire. A l'issue de quoi, la probabilité de présence de la mulette perlière a été testée à l'aide de modèles linéaires généralisés binomiaux (présence/absence). Afin de différencier les résultats, le **critère d'information d'Akaike** (ou critère de parcimonie, AIC) est calculé. Le meilleur modèle a le plus faible AIC.

Enfin, l'influence des seuils selon leur distance à la confluence sur la probabilité de présence de l'espèce est calculée.

#### c. Analyses physico-chimiques

Les éléments chimiques ne sont pas relevés sur chaque tronçon de prospection. En effet, les changements dans la composition de l'eau sont minimes sur de si courtes distances, et cela n'aurait pas été humainement possible. Il est donc choisi de faire des relevés à proximité de la confluence, entre les deux agglomérations présentes sur le linéaire (Châtelus et Arfeuilles), et à proximité du dernier transect.

Les éléments relevés sont : la **température**, l'**oxygène dissous**, la **saturation en oxygène**, le **pH** et la **conductivité**. Toutes ces données sont relevées à l'aide d'un HACH SL 1000.

Les températures relevées sur plusieurs années sur 2 stations du Barbenan sont utilisées. Les données physico-chimiques des différentes pêches électriques sur le linéaire sont aussi analysées.

### 3. [Suivi des moules déplacées](#)

Lors des arasements des seuils situés au lieu-dit La Féculerie et celui de Nansarin (Annexe VI), 7 moules perlières auraient pu être impactées par les travaux. Après une demande d'autorisation à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et une étude préalable, les individus ont été marqués par un code individuel et déplacés au lieu-dit Beaulieu. Ce site hébergeait déjà deux moules et paraissait favorable à l'espèce.

Ces moules ont été visitées 2 fois : une en période de hautes eaux, et une en période d'étiage. Leur présence/absence a été relevée.

### 4. [Suivi de l'arasement d'un seuil : la Féculerie](#)

Des relevés topographiques ont été effectués avant l'arasement de chaque seuil afin de définir le profil initial du cours d'eau, l'ampleur exacte des travaux et de leurs impacts. Pour noter l'effet de l'arasement et suivre l'évolution de la rivière, il a été décidé de réaliser de nouveaux relevés topographiques sur le site où des moules avaient été trouvées avant les travaux. En effet, les deux moules en amont ne doivent pas être déchaussées par **l'érosion régressive** liée à l'arasement.

Ces relevés sont effectués à l'aide d'un théodolite avec un niveau optique et un trépied, d'une mire, d'un télémètre et d'un GPS. Un exemplaire de fiche de relevé terrain se trouve en annexe XII. Cette méthode va permettre de mesurer l'importance de l'érosion régressive sur le site de la Féculerie qui a fait l'objet d'un arasement de seuil et d'évaluer l'impact possible de cette opération sur les individus présents à l'amont de l'ancienne zone de remous du seuil.

## IV. [Résultats](#)

### 1. [La répartition de la moule perlière sur le Barbenan](#)

Les prospections le long du Barbenan se sont déroulées du 9 juillet au 1<sup>er</sup> août 2018. Seuls 3 individus vivants et une coquille ont été trouvés sur les tronçons. Lors de la progression entre

les tronçons, 3 coquilles ont également été découvertes. (Annexe XIII) Le nombre de nouvelles moules trouvées est faible. Cela confirme la rareté de cette espèce sur ce cours d'eau.

Ces trois individus ont été trouvés sur trois communes différentes : Le Breuil, Châtelus et Arfeuilles. Ils sont localisés sur la moitié aval du Barbenan. Les habitats riverains sont soit prairiaux, soit forestiers (Tableau 4). L'un des individus peut être considéré comme un jeune adulte en raison de sa classe de taille de 3 à 6 cm et de sa couleur encore claire.

Tableau 4 : Récapitulatif des moules perlières (MP) trouvées lors des prospections 2018.

Code MP	Commune	Classe de taille	Habitat rive gauche	Habitat rive droite
T4M1*	Le Breuil	> 6 cm	Prairie	Forêt
T18M1*	Châtelus	> 6 cm	Prairie	Ripisylve puis prairie
T25M1*	Arfeuilles	Entre 3 et 6 cm	Forêt	Ripisylve puis prairie

\*Code MP : T(numéro de transect)M(numéro de l'individu)

## 2. Habitats et menaces potentielles

Pour une meilleure compréhension, toutes les analyses sont menées de l'aval vers l'amont depuis de la confluence avec la Besbre.

### a. La granulométrie

La vase se retrouve principalement sur l'aval du Barbenan, avec une occupation de la surface toujours inférieure à 50% (Figure 7). Selon le modèle linéaire, la vase est très significativement liée à la position sur le cours d'eau ( $p < 0,005$ ). Avec un coefficient directeur **négligé**, cela nous permet de dire que le recouvrement de vase diminue significativement lorsque l'on se rapproche de la source. (Tableau 5)

Le sable, en grande quantité, peut-être négatif pour la moule en raison d'une perméabilité insuffisante et de son instabilité (Buddensiek et al. 1993 in Kinet et Libois, 1999). Pareil à la vase, il est graphiquement plus abondant en aval qu'en amont, ce que confirme le modèle linéaire par sa significativité ( $p < 0,005$ ) et par le signe du coefficient directeur (Figure 7 et tableau 5).

A l'inverse, la quantité de blocs est plus importante à l'amont comme l'atteste, à nouveau, la significativité du modèle linéaire et le signe du coefficient directeur qui est dans ce cas positif.

Les substrats « gravier » et « dalle » ne suivent pas significativement une répartition longitudinale (Tableau 5 et figure 7). Ils ne pourront donc pas être pris en compte pour l'analyse ultérieure.

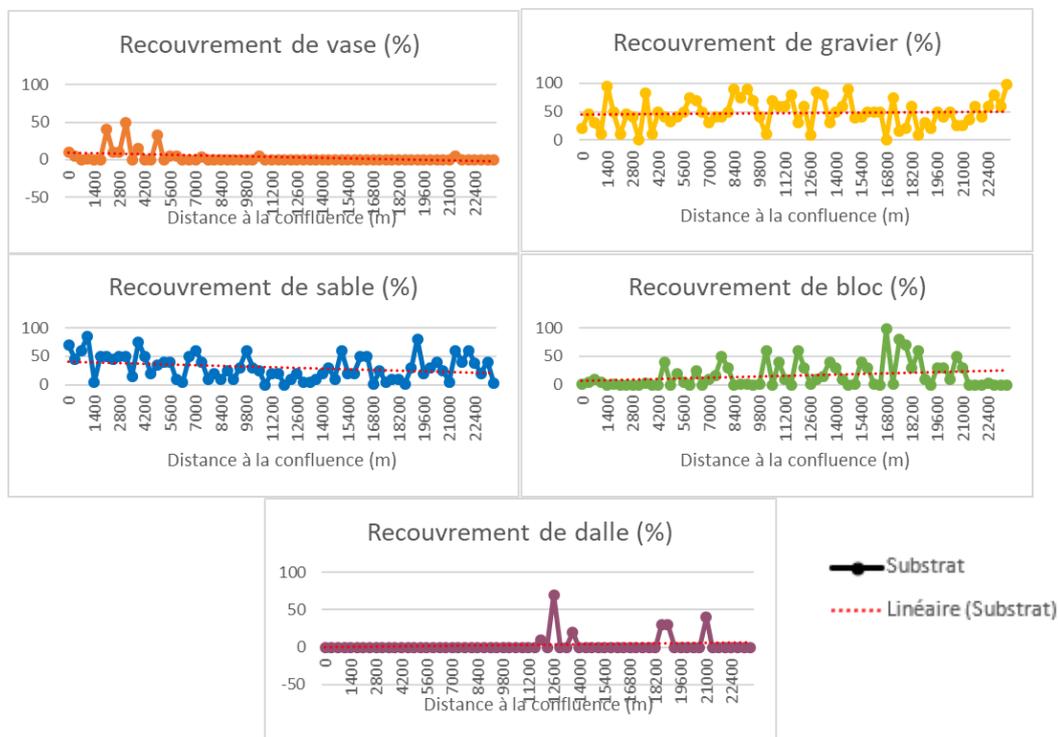


Figure 7 : Recouvrement granulométrique par tronçon de la confluence (0) à l'amont.

Tableau 5 : Description des résultats par substrat et corrélation suivant la distance à l'exutoire.

Substrats	Cours d'eau				En fonction de la distance à la confluence			
	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum	Ordonnée à l'origine +/- IC *	Coefficient directeur +/- IC*	Probabilité (P)**	Pourcentage de variance expliquée (%)
Vase	3,01	0	0	50	8,85 +/- 1,96	-0,49 +/- 0,15	<0,005	15,11
Sable	30,92	0	25	25	42,40 +/- 5,12	-0,96 +/- 0,37	0,012	9,14
Gravier	46,90	0	50	98	42,17 +/- 5,95	0,40 +/- 0,43	0,360	1,25
Bloc	15,97	0	3	98	6,47 +/- 5,27	0,80 +/- 0,38	0,041	6,11
Dalle	2,9	0	0	70	-0,39 +/- 2,60	0,28 +/- 0,19	0,146	3,12

\*IC = Intervalle de confiance ; \*\* en bleu si significatif au seuil de 5%

b. Les faciès d'écoulement

Le seul faciès du cours d'eau à suivre une répartition significative est le « **Rapide** ». La surface de recouvrement augmente logiquement vers l'amont. En effet, tant les graphiques que les courbes de tendance (Figure 8) ne montrent aucune évolution pour le plat lentique, le plat courant et le radier (Figure 8). Le graphique représentant le faciès « cascade » semble pourtant montré une évolution positive avec l'éloignement à la confluence, mais le modèle linéaire est non significatif ( $p = 0,066$ ) (Tableau 6).

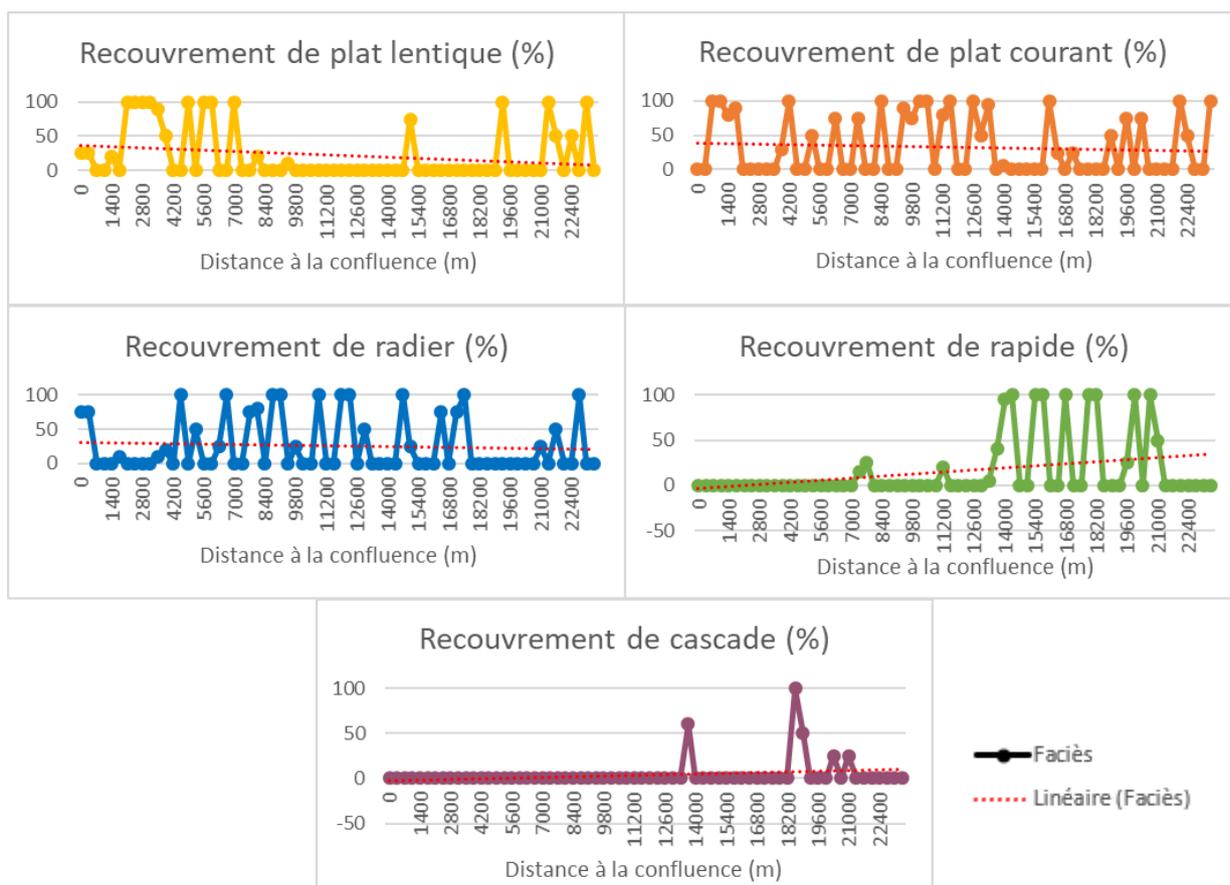


Figure 8 : Recouvrement par faciès par tronçon de la confluence (0) à l'amont

Tableau 6 : Description des résultats par faciès d'écoulement et corrélation suivant la distance à l'exutoire.

Faciès	Cours d'eau				En fonction de la distance à la confluence			
	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum	Ordonnée à l'origine +/- IC*	Coefficient directeur +/- IC*	Probabilité (P)**	Pourcentage de variance expliquée (%)
Plat lentique	22,68	0	0	100	37,57 +/- 8,97	-1,25 +/- 0,65	0,06	5,23
Plat courant	32,54	0	0	100	39,07 +/- 9,94	-0,55 +/- 0,72	0,45	0,86
Radier	25,29	0	0	100	29,05 +/- 9,23	-0,32 +/- 0,67	0,64	0,33
Rapide	15,58	0	0	100	-3,90 +/- 7,66	1,64 +/- 0,56	<0,005	11,48
Cascade	0	0	0	100	-2,08 +/- 3,63	0,49 +/- 0,26	0,066	4,94

\*IC = Intervalle de confiance ; \*\* en bleu si significatif au seuil de 5%

c. Le biofilm

Sur la représentation linéaire (Figure 9), une **tendance à la baisse** du recouvrement du biofilm semble se dessiner lorsque l'on s'éloigne de la confluence du Barbenan. Cela est confirmé par la significativité du modèle linéaire sur la répartition longitudinale de cette variable (**p=0,021**, Tableau 7).

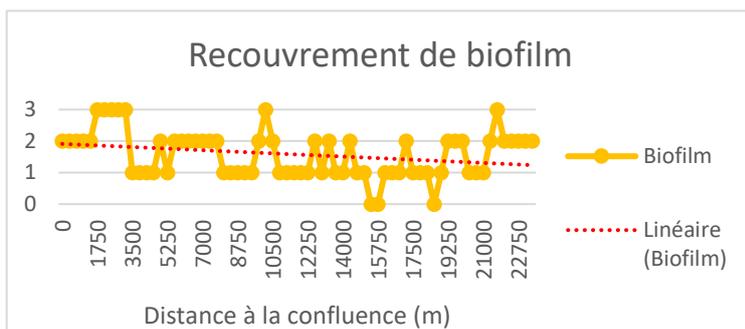


Figure 9 : Recouvrement du biofilm par tronçon de la confluence (0) à l'amont

Tableau 7 : Description des résultats du biofilm et corrélation suivant la distance à l'exutoire

Biofilm	Cours d'eau				En fonction de la distance à la confluence			
	Moyenne	Minimum	Médiane	Maximum	Ordonnée à l'origine +/- IC*	Coefficient directeur +/- IC*	Probabilité (P)**	Pourcentage de variance expliquée (%)
	1,58	0	2	3	1,93 +/- 0,17	-0,03 +/- 0,01	0,021	7,67

\*IC= Intervalle de confiance ; \*\*en bleu si significatif au seuil de 5%

d. Facteurs influençant la répartition de la moule perlière

Pour ces analyses, les données utilisées datent de 2008 à 2018 (Annexe X).

La présence/absence de la muette est significativement corrélée à la distance à la confluence de manière négative. (Tableau 8) Le pourcentage de variance expliquée nous montre que cette variable explique **6,09%** de la répartition de l'espèce (Tableau 8).

La significativité du biofilm, de surface recouverte par la vase, le sable, les blocs et les rapides en fonction de la distance à l'exutoire permet de prédire les valeurs de ces variables aux données antérieures et ainsi d'évaluer leurs effets sur la présence / absence de la moule.

Tous les facteurs testés expliquent significativement ( $p=0,02$ ) la répartition de l'espèce sur le linéaire (Tableau 8) chacun à hauteur de **6,09%**.

Les AIC (**99,514**) sont les mêmes pour chacune des variables (Tableau 8). Cependant, toutes les variables dépendent de la distance à l'exutoire. Il apparaît alors logique de ne retenir que la distance à l'exutoire comme meilleure variable explicative de la présence de la moule.

Probabilité de présence de la moule perlière selon la distance à l'exutoire.

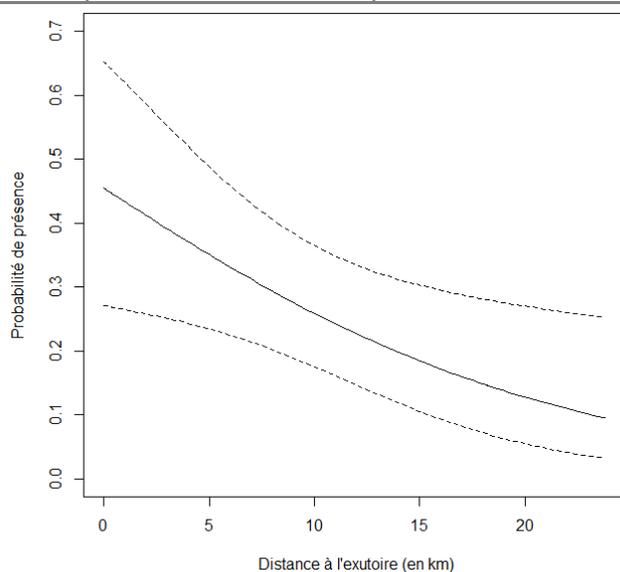


Figure 10 : Représentation de la probabilité de présence de la moule perlière en fonction de la distance à l'exutoire en kilomètre.

Tableau 8 : Récapitulatif des calculs pour chaque paramètre significativement lié à la distance à la confluence.

Variable	En fonction de la distance à la confluence				
	Ordonnée à l'origine +/- IC*	Coefficient directeur +/- IC*	Probabilité (P)**	Pourcentage de variance expliquée (%)	AIC***
<b>Présence MP</b>	-0,8 +/- 0,41	-0,09 +/- 0,03	<b>0,02</b>	6,09	99,514
<b>Biofilm</b>	-5,96 +/- 2,11	3 +/- 1,26	<b>0,02</b>	6,09	99,514
<b>Rapide</b>	-0,39 +/- 0,35	-0,05 +/- 0,02	<b>0,02</b>	6,09	99,514
<b>Bloc</b>	-1,210 <sup>e-01</sup> +/- 4,35 <sup>e-01</sup>	-1,091 <sup>e-05</sup> +/- 4,582 <sup>e-06</sup>	<b>0,02</b>	6,09	99,514
<b>Sable</b>	-4,01 +/- 1,3	0,09 +/- 0,04	<b>0,02</b>	6,09	99,514
<b>Vase</b>	-1,7 +/- 0,4	0,18 +/- 0,07	<b>0,02</b>	6,09	99,514

\*IC = Intervalle de confiance ; \*\* en bleu si significatif au seuil de 5% ; \*\*\*AIC : critère d'information d'Akaike

e. L'effet des seuils sur la moule perlière

Le modèle linéaire généralisé binomial indique que les seuils se situant en amont des moules n'influencent pas significativement leur présence ( $p=0,19$ ) (Tableau 9).

*A contrario*, les seuils en aval expliquent ( $p=0,003$ ) à hauteur de 16.11% la présence de l'espèce. (Tableau 9) Cette probabilité de présence diminue lorsque l'on s'éloigne du seuil. (Figure 11)

Probabilité de présence de la moule perlière selon la distance au seuil aval (50 m / 6 km).

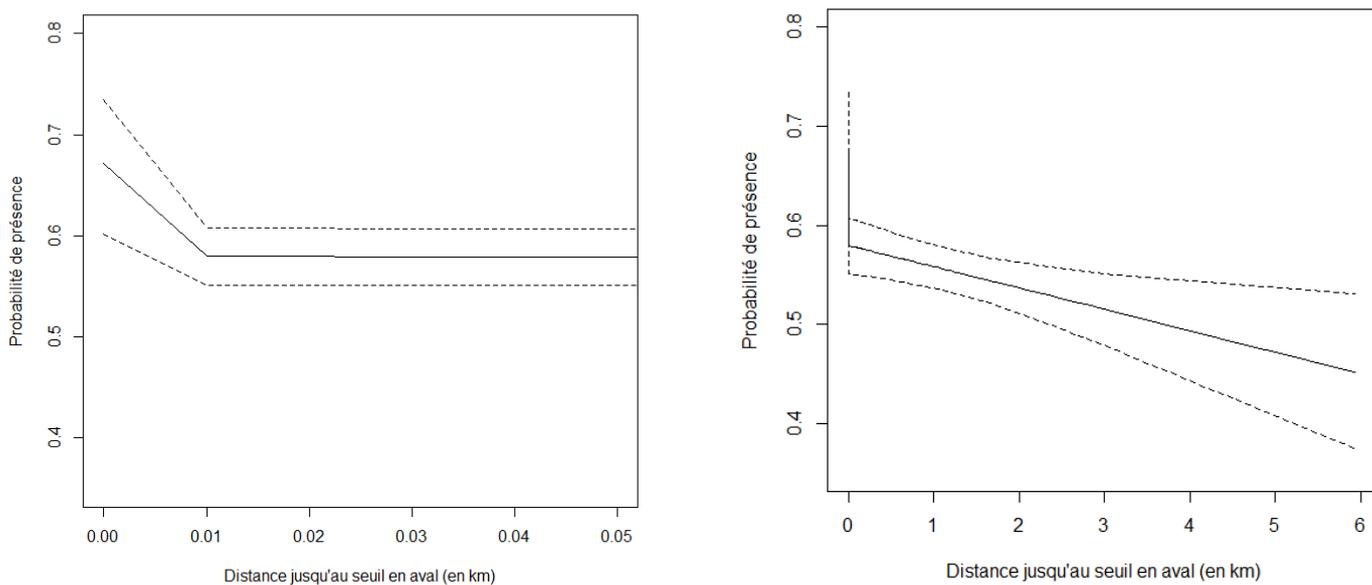


Figure 11 : Représentation de la probabilité de présence de la moule perlière par rapport à la distance au seuil jusqu'à 50 mètres en amont avec l'intervalle de confiance représenté.

Tableau 9 : Récapitulatif des calculs pour la probabilité de présence de la moule perlière par rapport à la présence des seuils.

Variable	En fonction de la distance à la confluence				
	Ordonnée à l'origine +/- IC*	Coefficient directeur +/- IC*	Probabilité (P)**	Pourcentage de variance expliquée (%)	AIC
Présence seuil aval	0,71 +/- 0,15	-0,49 +/- 0,16	0,003	16,11	97,893
Présence seuil amont	-1,34 +/- 0,33	0,17 +/- 0,13	0,19	1,67	104,01

\*IC = Intervalle de confiance ; \*\* en bleu si significatif au seuil de 5% ; \*\*\*AIC : critère d'information d'Akaike

## f. Les analyses physico-chimiques

Pour chaque tableau (tableaux 10-11-12), les couleurs correspondent : **vert** = en accord avec tous les auteurs, **orange** = en accord avec au moins 1 auteur, **rouge** = en désaccord avec tous les auteurs.

Les données des trois tableaux (Tableaux 10-11-12) montrent que la **température n'est pas un facteur limitant** la présence de la moule perlière sur le Barbenan. En effet, toutes les valeurs mesurées sont inférieures à 23°C qui est le seuil limite de température indiqué par l'ensemble des auteurs. (Tableau 1) Pour les autres paramètres, la littérature est plus disparate. Certains auteurs indiquent une conductivité maximale de l'eau de 200 microsiemens ( $\mu\text{s}$ ) (Moorkens, 2000) et d'autres de maximum 40  $\mu\text{s}$  (Varandas et al., 2013) pour la présence de la moule. Aucune des données mesurées sur le Barbenan ne se situe sous le seuil des 40  $\mu\text{s}$ , mais toutes sont néanmoins inférieures à 200  $\mu\text{s}$ .

Pour l'acidité (pH), seules les données de 2018 (Tableau 10) seraient *a priori* favorables à l'espèce (BAUER et MOOKENS). Les acidités relevées lors des pêches électriques seraient défavorables (Tableau 12). Enfin, les données sur la concentration et le taux d'oxygénation sont divisés. Les relevés des pêches électriques (Tableau 12) sont tous favorables à l'espèce. *A contrario*, les données de 2018, exceptée la saturation sur le point de mesure « route D25 », sont défavorables à l'espèce.

Tableau 10 : Relevés sur le Barbenan en 2018, de l'aval à l'amont.

Lieu et date	°C	Cond.	pH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> %
Berlande 18/07/18	17.8	76.5	7.98	7.71	85.1
Guétalon 07/08/18	22	68	7.53	7.1	89.3
Route D25 07/08/18	21	48.3	7.43	7.59	95.6

°C = température en degré Celsius ; Cond. = conductivité en micro siemens ( $\mu\text{s}$ ). pH = acidité ; O<sub>2</sub> mg/L = oxygène dissous ; O<sub>2</sub> % = saturation en oxygène.

Tableau 11 : Relevés aux stations de température d'aval en amont. Données de la FDPPMA03.

Station	Moyenne (°C)	Minimum (°C)	Médiane (°C)	Maximum (°C)
Station Arfeuilles (04.04.2014 à 01.10.2017)	12,5	0.3	13.4	21.7
Station Chavroche (13.07.2013 à 08.06.2016)	9,9	0.2	9.3	19.7

Tableau 12 : Données de 2013 à 2016 relevées lors des pêches électriques sur le Barbenan. Données de la FDPPMA03.

	°C	Cond.	pH	O <sub>2</sub> mg/L	O <sub>2</sub> %
<b>Moyenne</b>	12.7	70	8.5	10.05	100
<b>Minimum</b>	10.0	52	8.2	9.4	98.8
<b>Médiane</b>	13.1	72	8.6	10.10	99.3
<b>Maximum</b>	15.3	95	8.7	10.30	102.5

°C = température en degré Celsius ; Cond. = conductivité en micro siemens ( $\mu$ s). pH = acidité ; O<sub>2</sub> mg/L = oxygène dissous ; O<sub>2</sub> % = saturation en oxygène.

### 3. Suivi des moules déplacées

Les moules perlières déplacées à Beaulieu ont été visitées deux fois. Lors de la première visite, aucun des deux observateurs n'étaient présents lors du déplacement ou avaient déjà observés ces individus. Les recherches ont été effectuées à partir des coordonnées GPS et du croquis présents dans le compte rendu d'opération 2017 (VRIGNAUD et BARAULT, 2017).

La première visite a été effectuée le 13/06/2018. Un débit de 2.8 m<sup>3</sup>/s était observé. (eaufrance.fr) Lors de cette visite, les moules marquées (7 individus) et les moules déjà présentes sur le site (2 individus) ont été retrouvées avec un temps de recherche assez long.

La seconde visite a été effectuée le 24/07/2018. Un débit de 0.19 m<sup>3</sup>/s était observé. (eaufrance.fr) **La totalité des moules est contactée.**



Figure 12 : Moule perlière n°103, Beaulieu, 2018  
(© Anaëlle CELLIER)



Figure 13 : Moule perlière n°104, Beaulieu, 2018  
(© Anaëlle CELLIER)

#### 4. Suivi de l'arasement d'un seuil : la Féculerie

La courbe du profil en long de 2017 (Figure 14) montre parfaitement la présence du seuil : à 13 mètres du départ (0). On observe un niveau d'eau et une hauteur du profil en long largement supérieurs aux données de 2018.

L'évolution positive de la pente nous montre une remise en circulation des sédiments jusqu'alors bloqués par le seuil. Elles sont respectivement de 1% et 3%, soit 2 points d'augmentation.

A environ 250 mètres (Figure 14), les profils s'égalisent. Au-delà, nous pouvons considérer que c'est de l'érosion régressive qui n'est plus de la remise en circulation des sédiments stockés. En effet, le substrat stocké a été charrié par le courant, ce qui amène un changement pour le substrat en amont. À environ 240 mètres, l'érosion régressive est à hauteur de 23 centimètres.

Pour le moment, **l'érosion régressive** engendrée par la suppression du seuil de la Féculerie **n'impacte pas** les moules perlières situées à environ 440 mètres en amont.

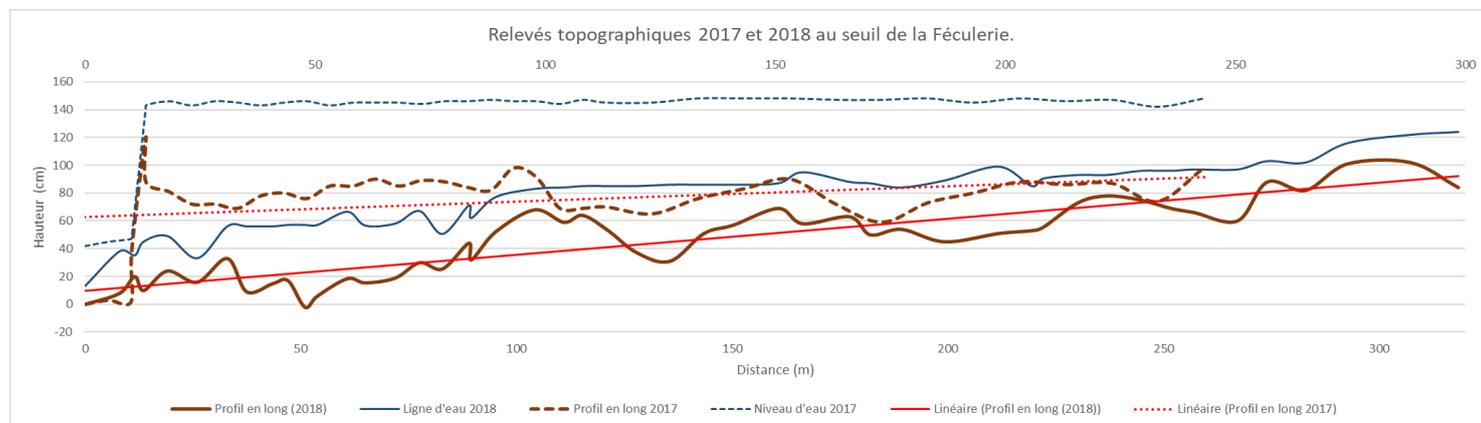


Figure 14 : Profil en long, niveau d'eau et tendance (linéaire) du Barbenan à la Féculerie : données 2017 (avant l'arasement) et 2018 (post-arasement).

## V. Discussion

### 1. La répartition de la mulette perlière

Cette présente étude a permis de dresser un **état des lieux global** des populations de mulettes perlières sur le Barbenan. Le faible nombre d'individus contactés reflète une réelle **rareté** renforçant ainsi sa nécessaire prise en compte dans la gestion globale de la rivière. Cependant, il est à souligner que le taux de détection des observateurs n'est pas de 100 % (**entre 0% et 78% au premier passage**, selon Laborde, 2017), aussi quelques individus ont pu passer inaperçus. En outre, l'espèce est considérée comme étant semi-agrégative. Il est donc possible que des groupes d'individus soient situés entre les tronçons échantillonnés et n'aient donc pas été comptabilisés. On retiendra que cette étude est une première approche sur cette rivière où les connaissances étaient jusqu'alors très ponctuelles. Grâce à ce travail, il ressort qu'un approfondissement des connaissances sur la répartition de la mulette passerait par une accentuation des prospections dans la partie aval de la rivière. En effet, les résultats statistiques montrent une plus grande probabilité de présence à proximité de la confluence.

Le fait que cette espèce soit semi-agrégative peut amener à une autre piste d'inventaire : des efforts de recherche ultérieurs peuvent être menés **de part et d'autre des individus connus**. Les mulettes trouvées en 2018 sont de potentiels indicateurs de la présence de mulettes supplémentaires.

### 2. Les habitats et les menaces

En premier lieu, les relevés physico-chimiques ne reflètent que les caractéristiques de l'eau à un moment précis. Elles ne permettent pas une lecture sur le long terme, qui plus est pour une espèce longévive comme la mulette perlière. L'analyse doit donc se concentrer sur l'instant des relevés qui indiquent uniquement la favorabilité ou non du milieu à ce moment. En effet, même si les paramètres s'étalent sur 5 ans, cela ne représente qu'environ **6,25%** de la durée de vie de l'espèce ( $\pm 80$  ans en France).

Avoir une vision globale sur ces paramètres est assez difficile car ils montrent une évolution selon la période et selon l'année. Afin de pouvoir objectivement savoir si le Barbenan peut encore accueillir la mulette, une sonde devrait être installée pour chaque élément avec un enregistrement des données quasi-constant et sur une longue période.



Ensuite, les deux paramètres impactant le plus négativement la moule sont le **colmatage** et l'**encaissement** (Gittings et al., 1998 ; Vaughn, 2010 ; Negishi et al., 2011). Cette étude a abordé le colmatage par l'intermédiaire de la granulométrie (colmatage physique) et le biofilm (colmatage biologique). Une étude sur la stabilité sédimentaire du Barbenan pourrait montrer les zones les plus favorables pour le déplacement possible d'autres moules lors d'arasement de seuils.

Les analyses statistiques ont été menées sur des paramètres d'habitats précis, connus pour impacter la moule perlière. Les analyses n'ont pas pris en compte l'**auto-corrélation spatiale** qui fournit des informations sur la favorabilité ou non des habitats voisins. Il est complexe à intégrer, mais pourrait être intéressant pour une compréhension rigoureuse des exigences de l'espèce.

Enfin, si l'on s'inspire des observations relevées sur le terrain, les zones d'abreuvement et de passage à gué dans le Barbenan sont relativement abondantes (Annexe XIV). Un aménagement de ces espaces (zone d'abreuvement, passerelle) peut limiter l'apport de matières organiques (par conséquent la création de biofilm), de sédiments fins et le piétinement du fond de la rivière.

### 3. [Le suivi des moules perlières à Beaulieu](#)

L'observation des moules déplacées peut être considérée comme une **réussite** à l'issue de la première année. En effet, la première visite s'est déroulée lors d'une période de débit important, et effectuée par des observateurs ne connaissant pas le site. Pourtant, toutes les moules ont été retrouvées.

Le déplacement d'individus de cette espèce est rare : les individus de Beaulieu nécessitent une certaine surveillance. Comme cette année, une à deux visites par an sont à envisager. Au vu de leur **longévité**, ces visites seraient à réitérer pendant au minimum 5 ans, soit environ 6% de leur vie.

### 4. [Mesures de gestion associées à la moule](#)

Aujourd'hui, toutes les moules connues du Barbenan sont adultes. Une étude sur les jeunes serait intéressante. Actuellement, il n'est pas possible de savoir si les habitats qui abritent ces adultes peuvent aussi accueillir des jeunes. Pour cela, il faut être capable d'affirmer que les échanges en eau entre la zone hyporhéique et la colonne d'eau sont



suffisants. Les deux méthodes les plus couramment utilisées sont les « bâtons de Marmonier » (Marmonier et al., 2004) et le potentiel redox (Geist & Auerswald, 2007). Pour cette dernière, il existe même un référentiel permettant de juger si la perméabilité est compatible avec une viabilité de la moule perlière.

La poursuite de la restauration de la continuité écologique sur le Barbenan par arasement des seuils contribuerait à accroître la stabilité sédimentaire, essentielle à la moule. En effet, la zone en aval des seuils est instable, et ne permet pas l'installation d'individus. *A contrario*, la zone amont des seuils peut servir de zone refuge pour les individus déchaussés lors de crues. Cependant, à l'inverse de l'aval, la stabilité sédimentaire est très certainement trop importante comme en atteste l'abondance de sédiments fins colmatant le substrat et rendant toute survie de jeunes individus impossible.

Lors de la poursuite des mesures RCE, un autre élément est à prendre en compte. La probabilité de trouver des individus est significativement plus importante en amont des seuils. Cela indique que les efforts de recherche avant les travaux doivent se concentrer préférentiellement en amont.

Enfin, la recherche de jeunes moules présentes dans les sédiments (stade critique) sur le Barbenan serait intéressante. En effet, Geist et Auerswald (2007) considèrent que le stade critique est la période enfouie des jeunes moules. Cependant, une recherche de glochidies sur les truites farios permettrait de confirmer (ou infirmer) que ce stade est le seul à être critique pour ce cours d'eau. La recherche de glochidies se fait lors des pêches électriques. Si leur présence est avérée sur les poissons-hôte, une recherche d'individus serait particulièrement judicieuse à proximité du lieu de pêche.

## VI. Conclusion

La répartition de la moule perlière sur le Barbenan est mieux comprise. Même si les nouvelles données ne sont pas nombreuses, des corrélations entre paramètres d'habitat et présence d'individus (données de 2008 à 2018) ont été notées : la distance à l'exutoire, la distance à un seuil en aval, la vase, le sable, les blocs et les rapides. Pourtant, il existe encore de nombreux paramètres à étudier. L'étude de cette espèce ingénieuse est complexe. Son rôle d'espèce parapluie et sa longévité font d'elle un enjeu primordial pour la conservation des cours d'eau.

Les données de mulette montrent l'existence d'une population constituée exclusivement d'adultes sur le Barbenan. Ainsi, le recrutement reste à prouver. Cette population peut-être fonctionnellement éteinte. Une disparition de la mulette perlière serait alors à prévoir sur ce cours d'eau.

D'autres arasements de seuils vont être menés sur le Barbenan. Cela pourrait permettre une étude plus approfondie sur l'érosion régressive et son impact sur les mulettes. En effet, d'autres individus peuvent se trouver hors de la zone de l'érosion régressive présente lors de l'arasement des seuils. Une étude plus approfondie pourrait alors être mise en place. Le profil en long serait relevé de l'aval du seuil à l'amont des mulettes. La position de ces dernières doit alors être extrêmement précise. La modification du profil et la modification (ou non) de l'emplacement des individus seraient relevées. Cela permettrait de quantifier l'impact de l'arasement sur l'espèce.

Ces actions RCE vont permettre une renaturation de l'habitat qui devrait être favorable à la mulette perlière. La présence de jeunes individus à la surface des sédiments permettrait alors de conclure à l'efficacité de cette mesure. En effet, ces mesures permettent un déplacement plus aisé pour les poissons-hôtes, une amélioration de la qualité physico-chimique de l'eau et une meilleure stabilité sédimentaire. Toutes ces améliorations pourraient faciliter le recrutement pour la population de mulette perlière du Barbenan.

## VII. Références

### 1. Sitographie

**Agence Française pour la Biodiversité (AFB)**, *L'application cartographique au service des données environnementales* [en ligne]. Disponible sur <<http://carmen.naturefrance.fr/>> (28/08/2018)

**Agence Française pour la Biodiversité (AFB)**, *Le service public d'information sur l'eau* [en ligne]. Disponible sur <<http://www.eaufrance.fr/>> (28/08/2018)

**Agence Française pour la Biodiversité (AFB)**, *Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (SANDRE)* [en ligne]. Disponible sur <<http://www.sandre.eaufrance.fr/>> (28/08/2018)

**BERTRAND F. MAUMY M.**, *Master 1<sup>ère</sup> année : Choix du modèle*, Disponible sur : <[http://irma.math.unistra.fr/~fbertran/enseignement/Master1\\_2010\\_2/Master2Cours3.pdf](http://irma.math.unistra.fr/~fbertran/enseignement/Master1_2010_2/Master2Cours3.pdf)> (28/08/2018)

**Bretagne vivante**, *Programmes LIFE Nature* [en ligne]. Disponible sur <<http://life-mouleperliere.org/>> (28/08/2018)

**IRSTEA**, 2014. IBMR – Indice Biologique Macrophytique en Rivière - Notice d'explication et d'utilisation - Fiche - terrain « description du point de prélèvement et relevé IBMR » [en ligne]. Disponible sur < [https://hydrobio-dce.irstea.fr/wp-content/uploads/2014/12/Notice-fiche-terrain-IBMR-v\\_3.4.pdf](https://hydrobio-dce.irstea.fr/wp-content/uploads/2014/12/Notice-fiche-terrain-IBMR-v_3.4.pdf)>

**LINTON J., CANTUARIAS C.**, 2016. Services écosystémiques et gestion durable de cours d'eau : opportunités et incertitudes, [VERTIGO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*. 2016, hors-série 25. Disponible sur <<https://journals.openedition.org/vertigo/17434>>. (28/08/2018)

**Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie**, *Banque HYDRO* [en ligne]. Disponible sur <<http://www.hydro.eaufrance.fr/>> (28/08/2018)

**Muséum National d'Histoire Naturel (MNHN)**, *Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)* [en ligne]. Disponible sur <<http://inpn.mnhn.fr/>> (28/08/2018)

DEOM, Pierre. La Mulette perlière, la grand-mère du ruisseau à truites. *La Hulotte*. 2014, numéro 101, 43p.

**PLK**. Les perles de la Vologne. In : *Du côté de chez PLK* [en ligne]. Disponible sur <<http://www.plkdenoetique.com/les-perles-de-la-vologne/>> (28/08/2018)

**R Development Core Team** (2005). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Disponible sur <<http://www.R-project.org>> (28/08/2018)

**République Française**, *Plateforme ouverte des données publiques françaises* [en ligne]. Disponible sur <<https://www.data.gouv.fr/fr/>> (28/08/2018)

**République française**, *Légifrance, le service public de la diffusion du droit* [en ligne]. Disponible sur <<https://www.legifrance.gouv.fr/>> (28/08/2018)

**République française**, *Le portail national de la connaissance du territoire mis en œuvre par l'IGN* [en ligne]. Disponible sur <<https://www.geoportail.gouv.fr/>> (28/08/2018)

## 2. Bibliographie

**ARVIDSSON, B.L. et al**, 2012. Recruitment of the threatened mussel *Margaritifera margaritifera* in relation to mussel population size, mussel density and host density. *AQUATIC CONSERVATION-MARINE AND FRESHWATER ECOSYSTEMS* Volume: 22. Issue: 4. Pages: 526-532. DOI: 10.1002/aqc.2240

**BAUER G., VOGEL C.**, 1987. The parasitic stage of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) I. Host response to Glochidiosis. *Archiv für Hydrobiologie*, DOI: 76 (4), 393-402.

**BUDDENSIEK V., ENGEL H., FLEISCHAUER-RÖSSING S., WÄCHTLER K.**, 1993. Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments bivalve habitats in several northern German lowland waters. II : Microhabitats of *Margaritifera margaritifera* L., *Unio crassus* (Philipsson) and *Unio tumidus* Philipsson. *Archiv für Hydrobiologie*, 127 (2), 151-166.

**COCHET G.**, 1997. Inventaire des cours d'eau à *Margaritifera margaritifera*. Direction Régionale de l'Environnement Auvergne (DIREN).

**COCHET G.**, 2010. Etat de l'art de la moule perlière en Auvergne. Biotope, Direction régionale de l'environnement de l'aménagement et du logement. (DREAL)

**ESNOUF S.**, 2018. Bilan de la Cellule d'Expertise Moule perlière et continuité écologique des cours d'eau en Auvergne-Rhône-Alpes en 2016-2017. Mise en œuvre du Plan National d'Actions Moule perlière Auvergne-Rhône-Alpes. CEN Auvergne. Agence de l'Eau Adour Garonne, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, DREAL Auvergne-Rhône-Alpes. 71 p.

**FILIPSSON K. et al.**, 2016. Heavy loads of parasitic freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) larvae impair foraging, activity and dominance performance in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecology of freshwater fish*. DOI: 10.1111/eff.12324

**GEIST J. et AUERSWALD K.**, 2007, Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*), *Freshwater Biology*, 52, 229–231, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2007.01812.x

**GITTINGS T., O'KEEFE D., GALLAGHER F., FINN J., O'MAHONY T.**, (1998). Longitudinal variation in abundance of a freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* population in relation to riverine habitats. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 98B (3), 171-178.

**GUTTIEREZ J. L., JONES C. G., STRAYER D. L., IRIBARNE O. O.**, 2003. Mollusks as ecosystem engineers: the role of shell production in aquatic habitats. *Oikos*, 101, 79-90.

**HUET, M. SCHWEIZ. Z.**, 1949, Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes, *Hydrol.* 11 : 332 - 351. 10.1007/BF02503356

**Kinet S. & Libois R.**, 1999 - Propositions pour la conservation des Unionidés (Mollusques bivalves) dans le bassin de l'Our (Parc Naturel Hautes-Fagnes Eifel). *Université de Liège*. 20p.

**LABORDE C., VRIGNAUD S.**, 2017. Suivi de population, détectabilité et méthodes de prospection des moules (et en particulier la moule perlière). *Non publié*

**MALAVOI J.R., SOUCHON Y.**, 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Note Technique. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 365/366 : 357-372.

**MANNFIELD, M.** 2015. Development and assessment of sampling techniques for freshwater mussel populations (Unionoida) in streams. *Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt - Chair of Aquatic Systems Biology* – DOI: 10.13140/RG.2.2.23225.57442

**MARMONIER P., DELETTRE Y., LEFEBVRE S., GUYON J., BOULTON A. J.**, 2004. A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation in the beds of rivers. *Archiv für Hydrobiologie*, 160 (1), 133-143.

**NEGISHI J. N., DOI H., KATANO I., KAYABA Y.**, (2011). Seasonally tracking vertical and horizontal distribution of unionid mussels (*Pseudunio japonensis*): implications for agricultural drainage management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21, 49-56. DOI: 10.1002/aqc.1153

**SCHÖNE et al**, 2004. Sea surface water temperatures over the period 1884–1983 reconstructed from oxygen isotope ratios of a bivalve mollusk shell (*Arctica islandica*, southern North Sea). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. DOI: 10.1016/j.palaeo.2004.05.024

**SPOONER D. E., VAUGHN C. C.**, 2006. Context-dependent effects of freshwater mussels on stream benthic communities. *Freshwater Biology*, 51, 1016-1024. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01547.x

**STRAYER D. L.**, 2014. Understanding how nutrient cycles and freshwater mussels (Unionoida) affect one another. *Hydrobiologia*, 735, 277-292. DOI: 10.1007/s10750-013-1461-5

**VAUGHN C. C.**, 2010. Biodiversity losses and ecosystem function in freshwaters: emerging conclusions and research directions. *BioScience*, 60 (1), 25-35. DOI: 10.1525/bio.2010.60.1.7

**VAUGHN C. C.**, 2016. Ecosystem services provided by freshwater mussels. *Hydrobiologia*. DOI: 10.1007/s10750-017-3139-x

**VAUGHN C. C., NICHOLS S. J., SPOONER D. E.**, (2008). Community and foodweb ecology of freshwater mussels. *Journal of North American Benthological Society*, 27(2), 409-423. DOI: 10.1899/07-058.1

**VRIGNAUD S.**, 2002. Numéro spécial moule perlière (*Margaritifera margaritifera*). *Margaritifera – Bulletin de liaison de l'atlas des mollusques de l'Allier*. Numéro 2. 4 pages.

**VRIGNAUD S.**, 2005. La moule perlière (*Margaritifera Margaritifera*, L.) synthèse bibliographique (au 01/07/05). Non publié.

**VRIGNAUD S.**, 2007. Les Naiades d'Auvergne. Bulletin spécial. *Margaritifera* – *Bulletin de liaison de l'atlas des mollusques de l'Allier*. 6 pages.

**VRIGNAUD S.**, 2016. Les espèces face à l'instabilité des hydrosystèmes fluviaux : le cas de la mulette épaisse *Unio crassus* Philipsson, 1788 (Mollusca : Bivalvia : Unionida). Mémoire de diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, 134 pages + annexes.

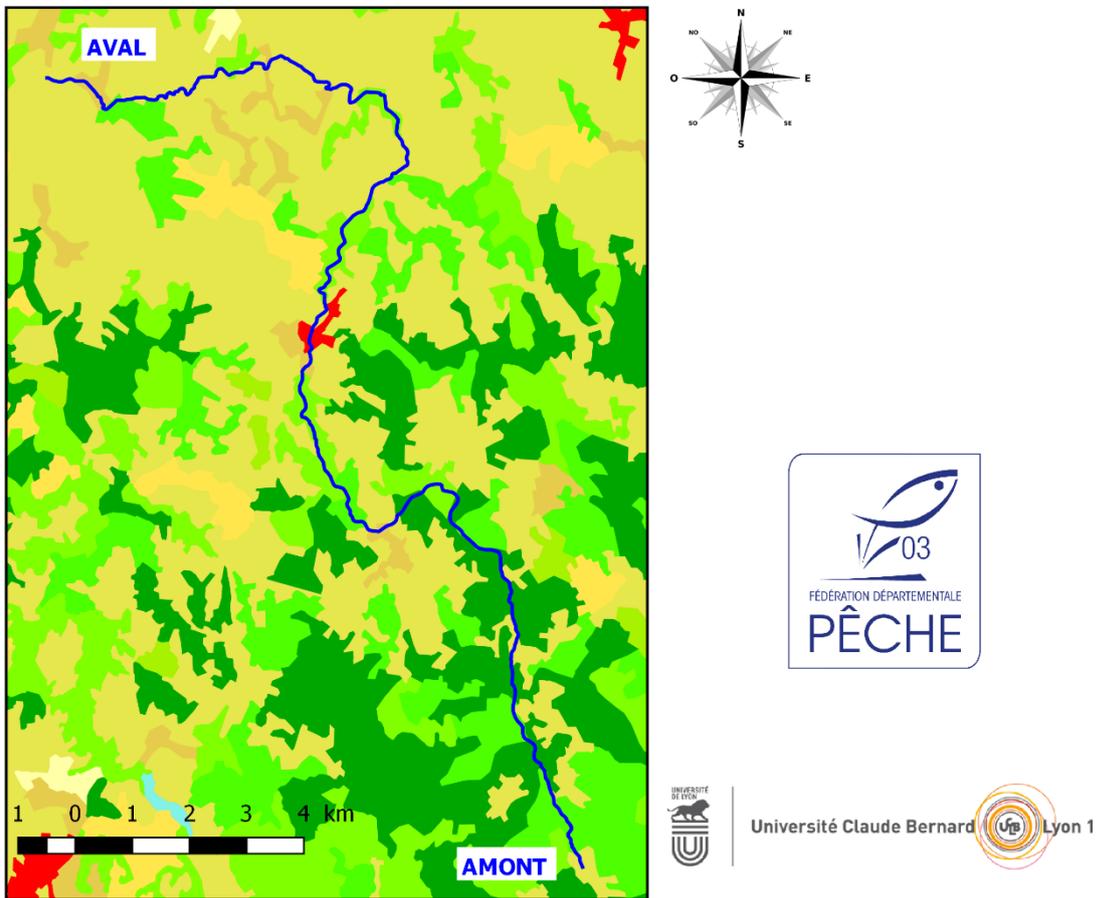
**VRIGNAUD S., BARAULT A.**, 2017. Compte-rendu de protection de la mulette perlière *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758) prises lors de l'arasement de trois seuils sur le Barbenan. FDPPMA de l'Allier.

**ZYUGANOV V. V., NEZLIN L. P.**, 1998. Ecology and strategy for protection and reproduction of vanishing species of pearl-bearing molluscs with European wing-shell taken as an example. Institute of development biology, *Acad. Set. USSR*, Moscow.

## VIII. Annexes

### Annexe I : Les habitats limitrophes du Barbenan

#### **Habitats suivants le linéaire du Barbenan selon Corine Land Cover 2006**



#### Légende

— Le Barbenan

#### **Corine Land Cover (2006)**

- 112 - Tissu urbain discontinu
- 211 - Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 231 - Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
- 242 - Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243 - Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
- 311 - Forêts de feuillus
- 312 - Forêts de conifères
- 313 - Forêts mélangées
- 322 - Landes et broussailles
- 324 - Forêt et végétation arbustive en mutation
- 512 - Plans d'eau

Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, Corine Land Cover 2006.

## Annexe II : Extrait du code de l'environnement, L214-17

*Code de l'environnement > Partie législative > Livre II : Milieux physiques > Titre Ier : Eau et milieux aquatiques et marins > Chapitre IV : Activités, installations et usage > Section 5 : Obligations relatives aux ouvrages*

### Article L214-17

- Modifié par [LOI n°2016-1087 du 8 août 2016 - art. 120](#)

I.-Après avis des conseils départementaux intéressés, des établissements publics territoriaux de bassin concernés, des comités de bassins et, en Corse, de l'Assemblée de Corse, l'autorité administrative établit, pour chaque bassin ou sous-bassin :

1° Une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux parmi ceux qui sont en très bon état écologique ou identifiés par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux comme jouant le rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau d'un bassin versant ou dans lesquels une protection complète des poissons migrateurs vivant alternativement en eau douce et en eau salée est nécessaire, sur lesquels aucune autorisation ou concession ne peut être accordée pour la construction de nouveaux ouvrages s'ils constituent un obstacle à la continuité écologique.

Le renouvellement de la concession ou de l'autorisation des ouvrages existants, régulièrement installés sur ces cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux, est subordonné à des prescriptions permettant de maintenir le très bon état écologique des eaux, de maintenir ou d'atteindre le bon état écologique des cours d'eau d'un bassin versant ou d'assurer la protection des poissons migrateurs vivant alternativement en eau douce et en eau salée ;

2° Une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs. Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant.

II.-Les listes visées aux 1° et 2° du I sont établies par arrêté de l'autorité administrative compétente, après étude de l'impact des classements sur les différents usages de l'eau visés à [l'article L. 211-1](#). Elles sont mises à jour lors de la révision des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux pour tenir compte de l'évolution des connaissances et des enjeux propres aux différents usages.

III.-Les obligations résultant du I s'appliquent à la date de publication des listes. Celles découlant du 2° du I s'appliquent, à l'issue d'un délai de cinq ans après la publication des listes, aux ouvrages existants régulièrement installés. Lorsque les travaux permettant l'accomplissement des obligations résultant du 2° du I n'ont pu être réalisés dans ce délai, mais que le dossier relatif aux propositions d'aménagement ou de changement de modalités de gestion de l'ouvrage a été déposé auprès des services chargés de la police de l'eau, le



propriétaire ou, à défaut, l'exploitant de l'ouvrage dispose d'un délai supplémentaire de cinq ans pour les réaliser.

Le cinquième alinéa de [l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919](#) relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique et [l'article L. 432-6](#) du présent code demeurent applicables jusqu'à ce que ces obligations y soient substituées, dans le délai prévu à l'alinéa précédent. A l'expiration du délai précité, et au plus tard le 1er janvier 2014, le cinquième alinéa de l'article 2 de la loi du 16 octobre 1919 précitée est supprimé et l'article L. 432-6 précité est abrogé.

Les obligations résultant du I du présent article n'ouvrent droit à indemnité que si elles font peser sur le propriétaire ou l'exploitant de l'ouvrage une charge spéciale et exorbitante.

IV.-Les mesures résultant de l'application du présent article sont mises en œuvre dans le respect des objectifs de protection, de conservation et de mise en valeur du patrimoine protégé soit au titre des monuments historiques, des abords ou des sites patrimoniaux remarquables en application du livre VI du code du patrimoine, soit en application de l'article [L. 151-19 du code de l'urbanisme](#).

Annexe III : Récapitulatif du cycle de vie et du fonctionnement de la moule perlière

Figure 15 : Cycle de vie de la moule perlière

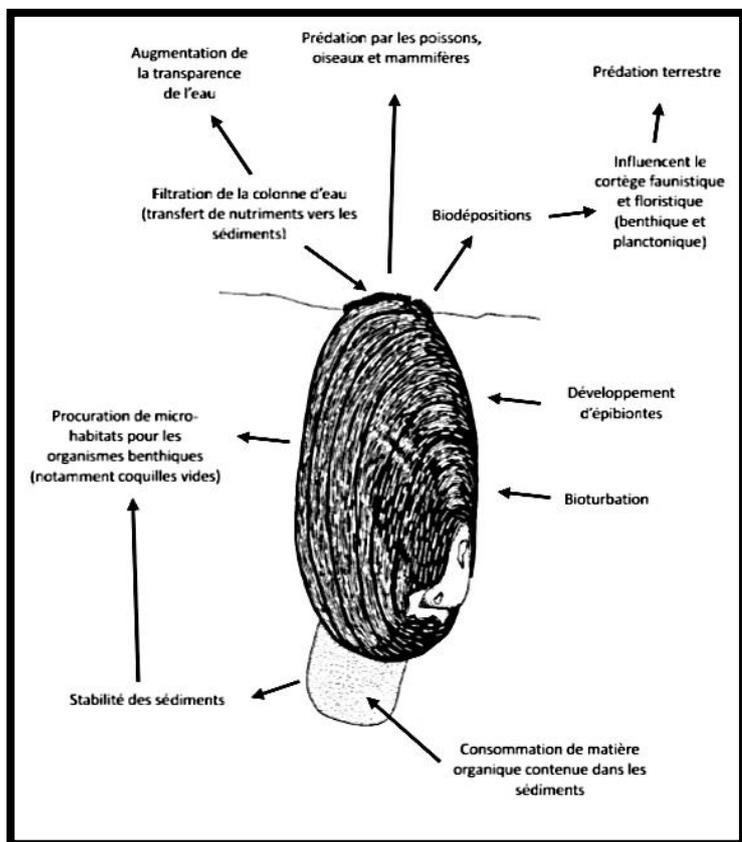
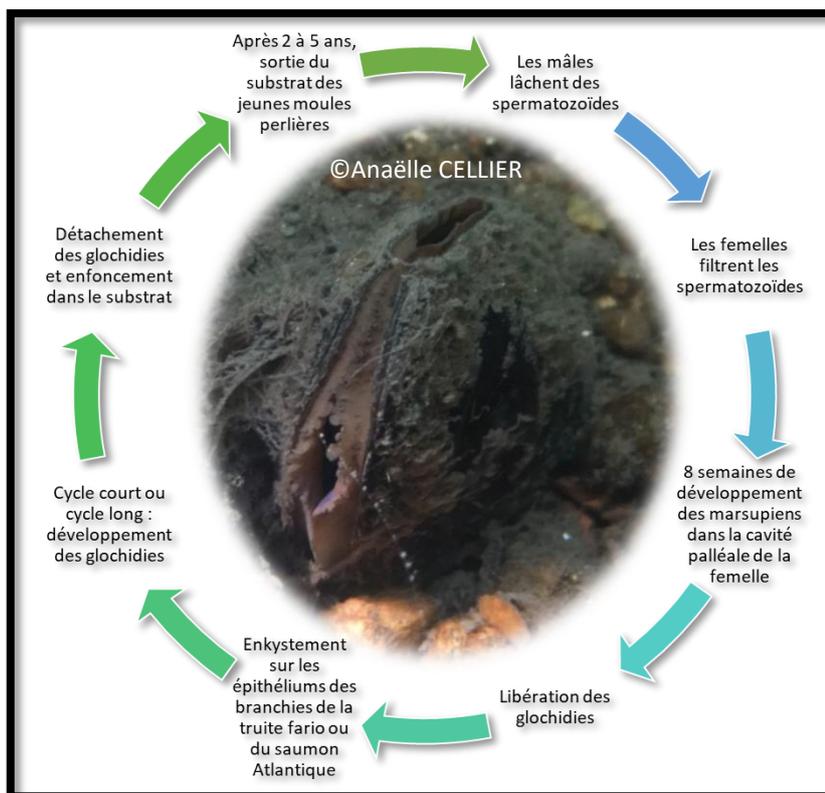


Figure 16 : Interactions entre la moule et son milieu

Annexe IV : Carte de répartition de la moule perlière, Plan National d'Actions pour la moule perlière, Biotope 2011 (d'après COCHET 2004 et GEIST 2005)

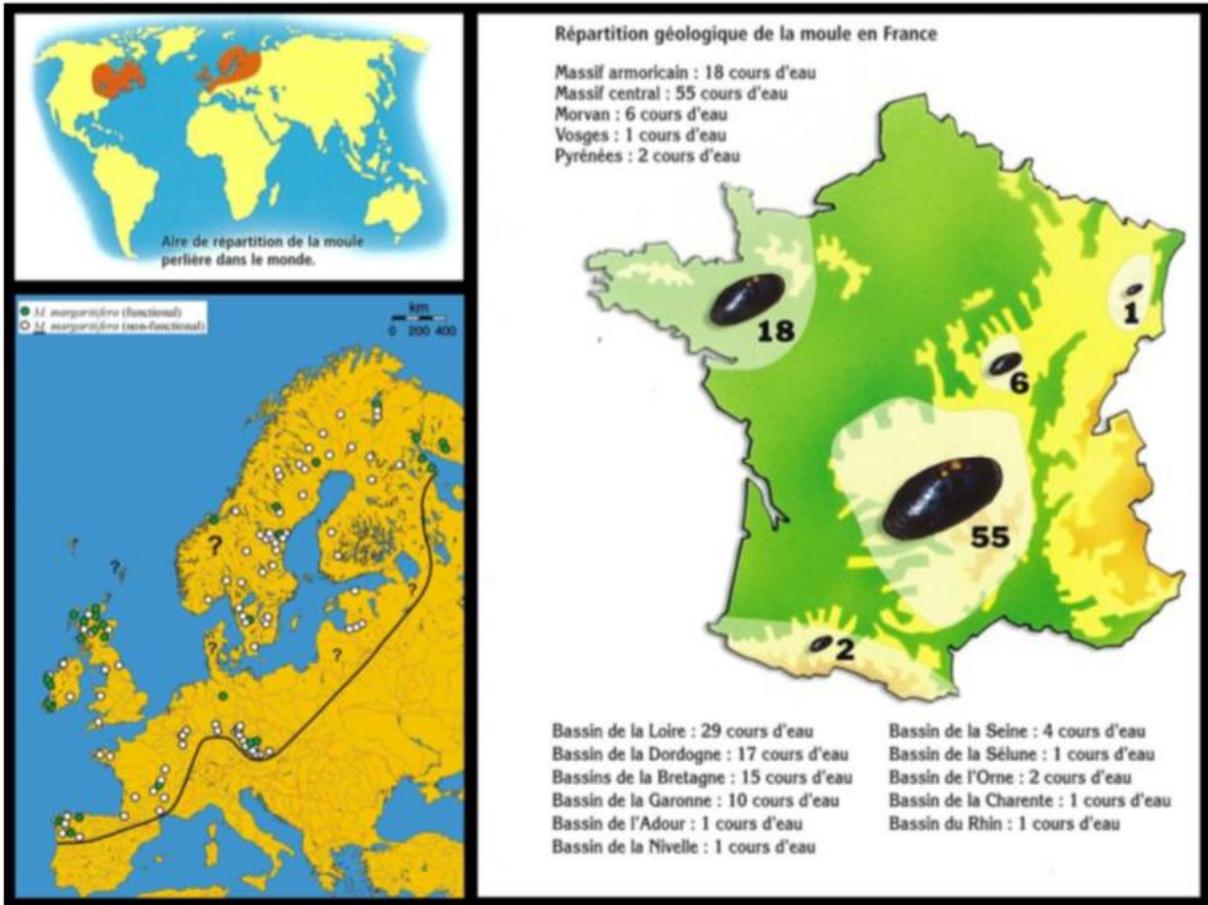


Figure 17 : Cartes de répartition de la moule perlière

Annexe V : Fiche de prospection de terrain, 2018

Prospection mulette perlière sur le Barbenan

*Prendre une photo à chaque arrivée*

Observateurs :

Date :

Code tronçon :

Commune :

Point GPS aval :

Cond. Météo :  ensoleillé  nuageux

Repère physique du départ de la station :

couvert

Cond. Hydro :  hautes eaux  moy. eaux  étiage

Profil transversal : 5 relevés						Physico-chimie
Largeur mouillée :		LPB :				°C :
	1	2	3	4	5	pH :
Distance						O <sub>2</sub> , mg/L :
Hauteur d'eau						O <sub>2</sub> , % :
Remarques						Conductivité :

**Lit et Berges**

Substrats (%) : Vases :

Faciès (%) : Retenue :

Sables :

Mouille :

Graviers :

Plat lentique :

Blocs :

Plat courant :

Estimation biofilm :

Absent

Peu abondant

Radier :

Abondant

Très abondant

Rapide :

Ripisylves :

	Caractéristiq.	Feuillus	Conifère	Herbacée	Enrochement
RD					
RG					

Caractéristiq. : C = continue / D = discontinue / E = érodée / S = stabilisée / EN = enrochée

Feuillus et Conifères : Arbustive (ar) / Arborée (A)

**Mulette perlière - Précision GPS**

Heure du départ du transect :

Heure fin de transect :

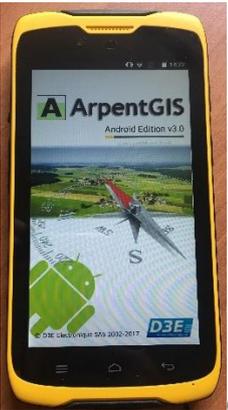
	Vivante	Coquille	0 à 3 cm	3 à 6 cm	< 6 cm	Substrat d'accroche
M1						
M2						
M3						
M4						
M5						
M6						
M7						
M8						
M9						

Remarques, perturbations :

**SCHEMA DE LOCALISATION DES MARGARITIFERA AU DOS**

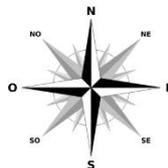
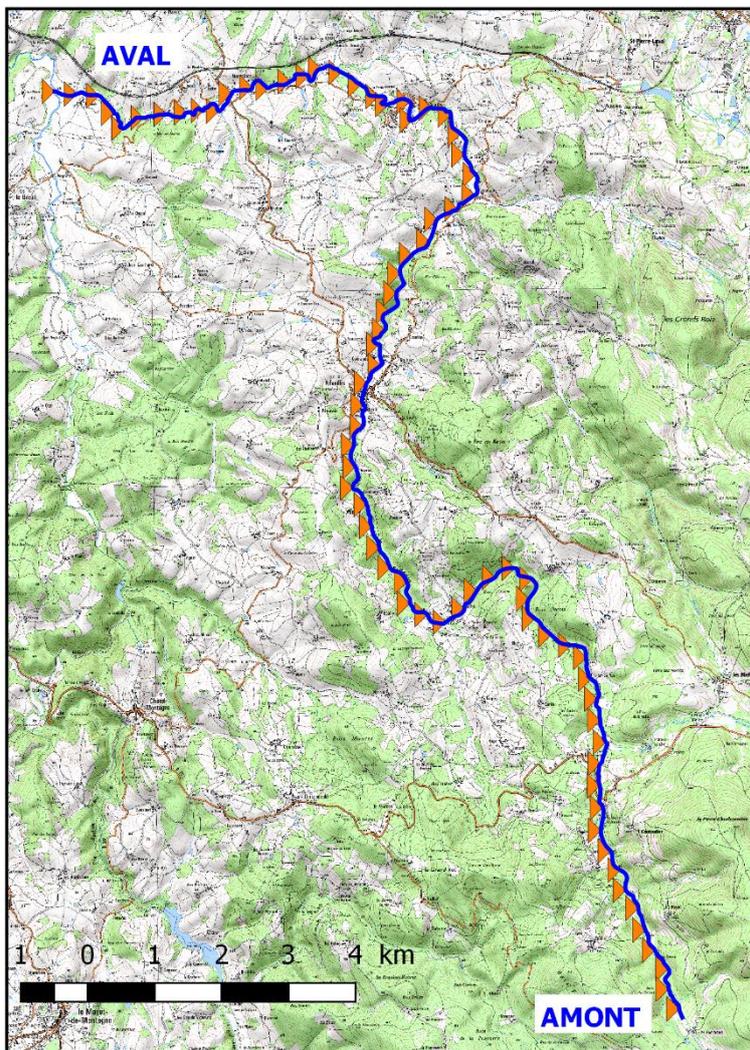
## Annexe VI : Détails du matériels utilisés

Nom matériel	Photo	Utilisation
Bathyscope	 (http://seamarknunn.com)	Prospection sub-aquatique
Télémètre	 (©Anaëlle CELLIER)	Relever des distances (longueur de prospection, distance inter-tronçons)
Pochette étanche pour photographie	 (source : Nature et Découverte)	Photographie sub-aquatique
Théodolite et niveau optique (avec trépied)	 (©Anaëlle CELLIER)	Relevés topographiques

<p>Mire</p>	 <p>(©Anaëlle CELLIER)</p>	<p>Relevés topographiques et profondeur d'eau</p>
<p>GPS</p>	 <p>(©Anaëlle CELLIER)</p>	<p>Relevés de points GPS</p>
<p>HACH SL 1000</p>	 <p>(©Anaëlle CELLIER)</p>	<p>Relevés physico-chimiques sur le terrain</p>

Annexe VII : Carte de localisation des tronçons de prospections

Points de départ des tronçons de prospections 2018 pour la moule perlière.



Université Claude Bernard



Lyon 1

Légende

- Le Barbenan
- ▶ Point de départ des prospections (350 mètres)

Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, Corine Land Cover 2006.

Annexe VIII : Détermination de la granulométrie, Malavoi-Souchon (2002)

**Table II**  
 Particle size classification system, adapted from WENTWORTH (1922) in MALAVOI et SOUCHON (1989).

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

Figure 19 : Classes de taille des sédiments

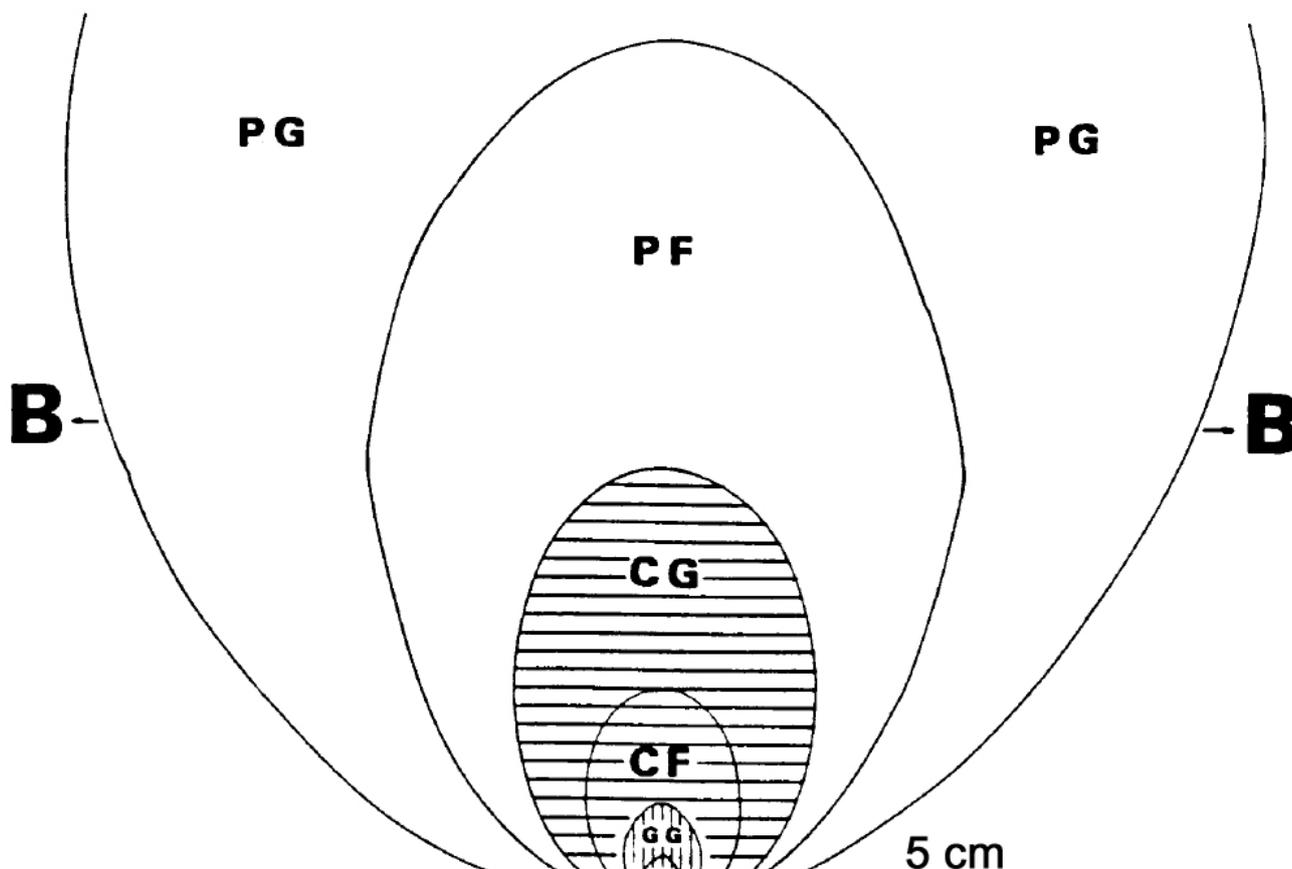
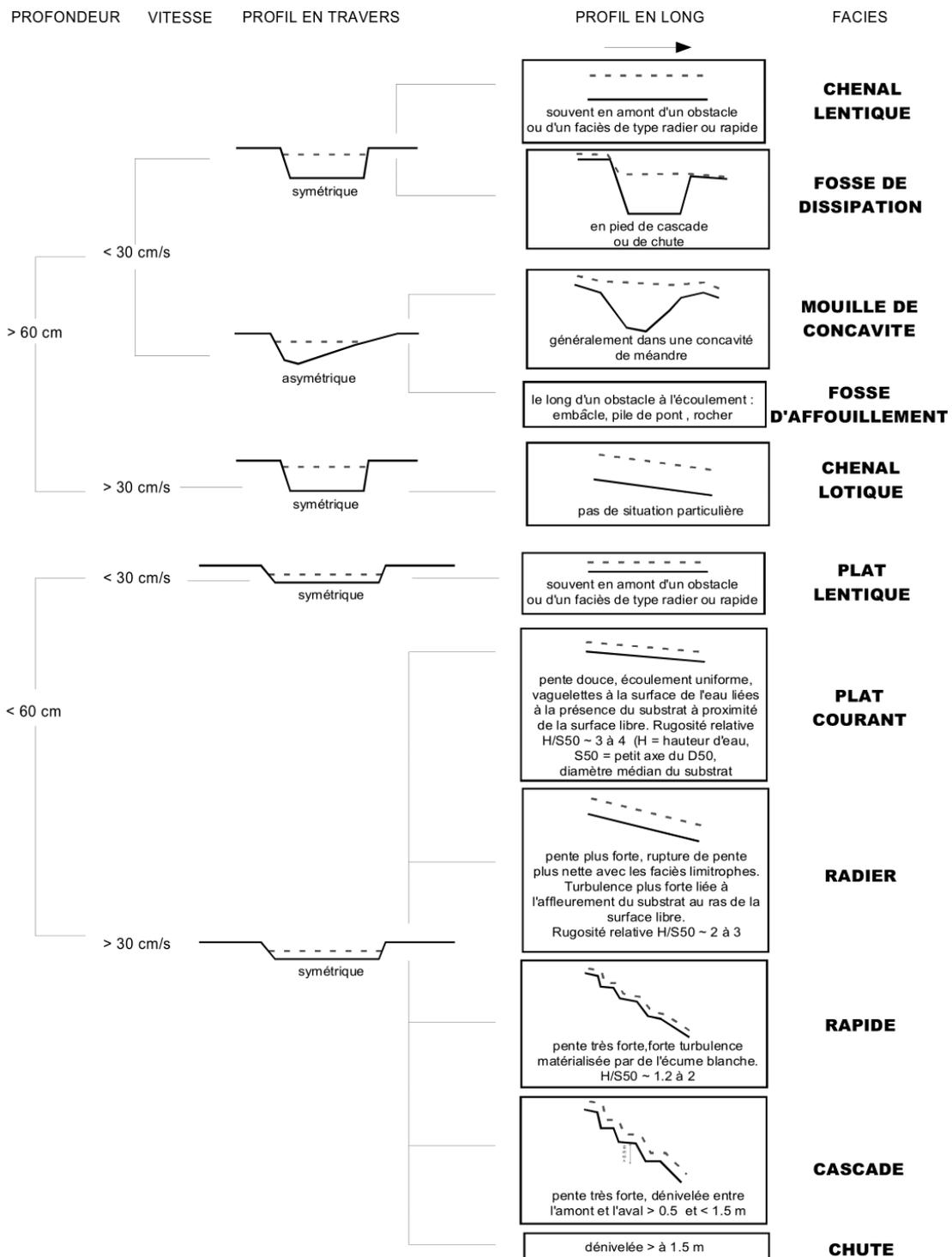


Figure 18 : Gabarit

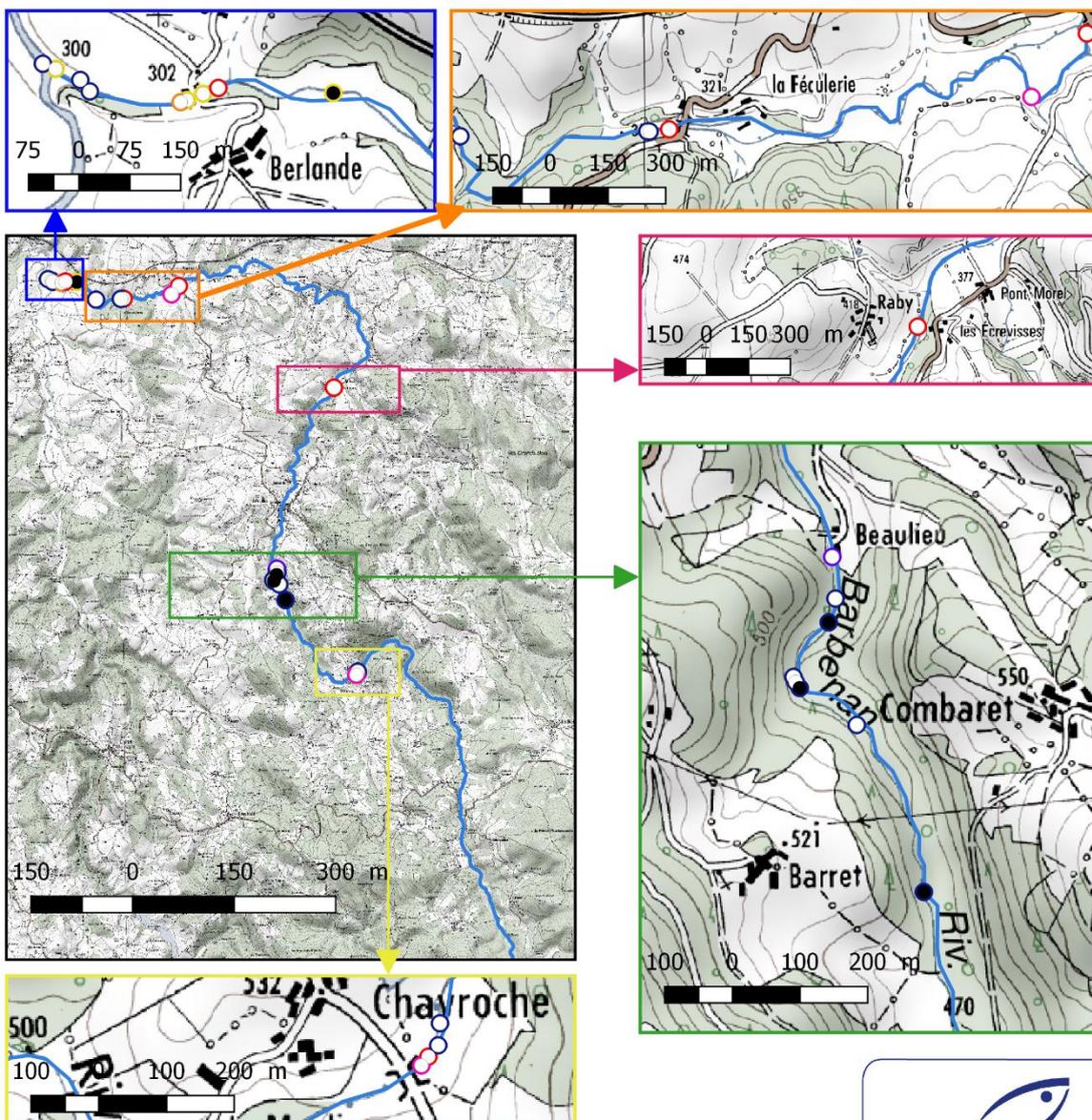
Annexe IX : Détermination des faciès d'écoulement, Malavoi-Souchon (2002)

Geomorphic units classification key.



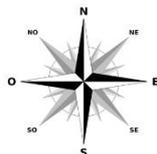
Annexe X : Carte de répartition de la moule perlière sur le Barbenan

Etat des lieux de la moule perlière (MP) sur le Barbenan, mai 2018



**Légende**

<b>Années</b>	— Le Barbenan
● 1998	<b>Etat des MP trouvées</b>
● 2008	● Coquille
● 2009	○ Vivante
● 2010	
● 2011	
● 2017	



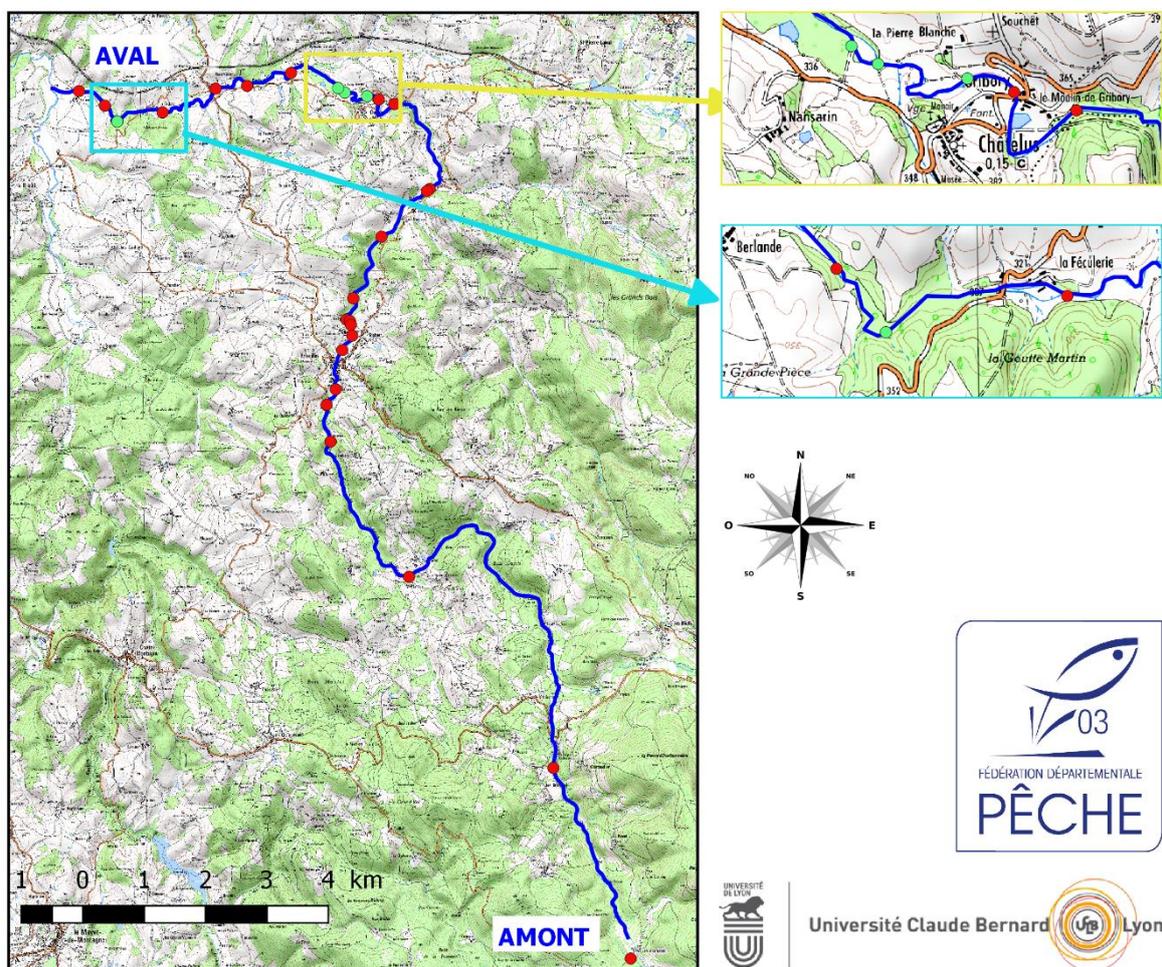
Université Claude Bernard  Lyon 1

Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, FDAPPMA 03, AFB, CEN Auvergne, COCHET Gilbert.

Annexe XI : Localisation des obstacles à l'écoulement et des mesures RCE

**Localisation des obstacles à l'écoulement et des mesures de restauration de la continuité écologique**



**Légende**

- Le Barbenan
- Seuils arasés en 2017
- Obstacles à l'écoulement

Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, Corine Land Cover 2006.



Annexe XII : Fiche de terrain pour les relevés topographique

Date :

Lieu :

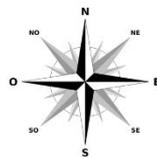
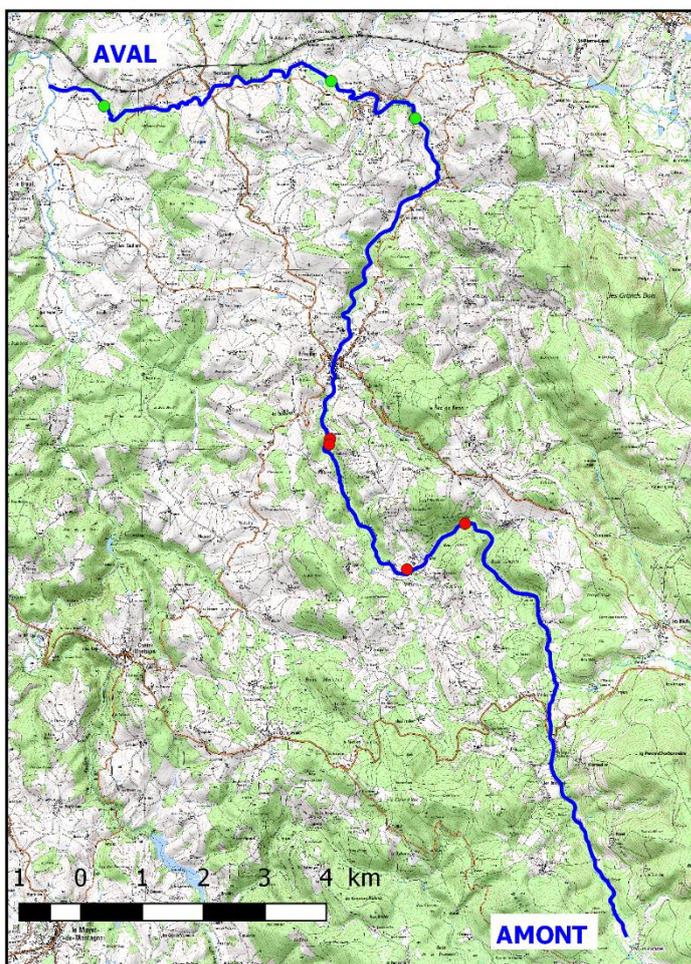
Levés topographiques par rayonnement

Opérateurs :

Station	Point	Coordonnées point (Ll et)	H PRéf. (m)	Var (m)	HI (m) = Var+H PRéf	Vav (m)	Hauteur Point (m) =HI-Vav	Azimut (degrés)	Distance st/P (m) lecture FS	Distance st/P (m) = (FSH-FSB)x100	Dist. P/P (m)	Dénivelé = (H2 - H1)/Dist. (%)
		X			0				FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		
		Y							FSB			
		X			0		0		FSH	0		

## Annexe XIII : Individus de moules trouvées lors des prospections 2018

### Moules perlières (MP) trouvées lors des prospections 2018.



#### Légende

— Le Barbenan

#### MP trouvées

● coquille

● vivante



Université Claude Bernard

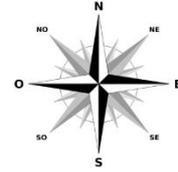
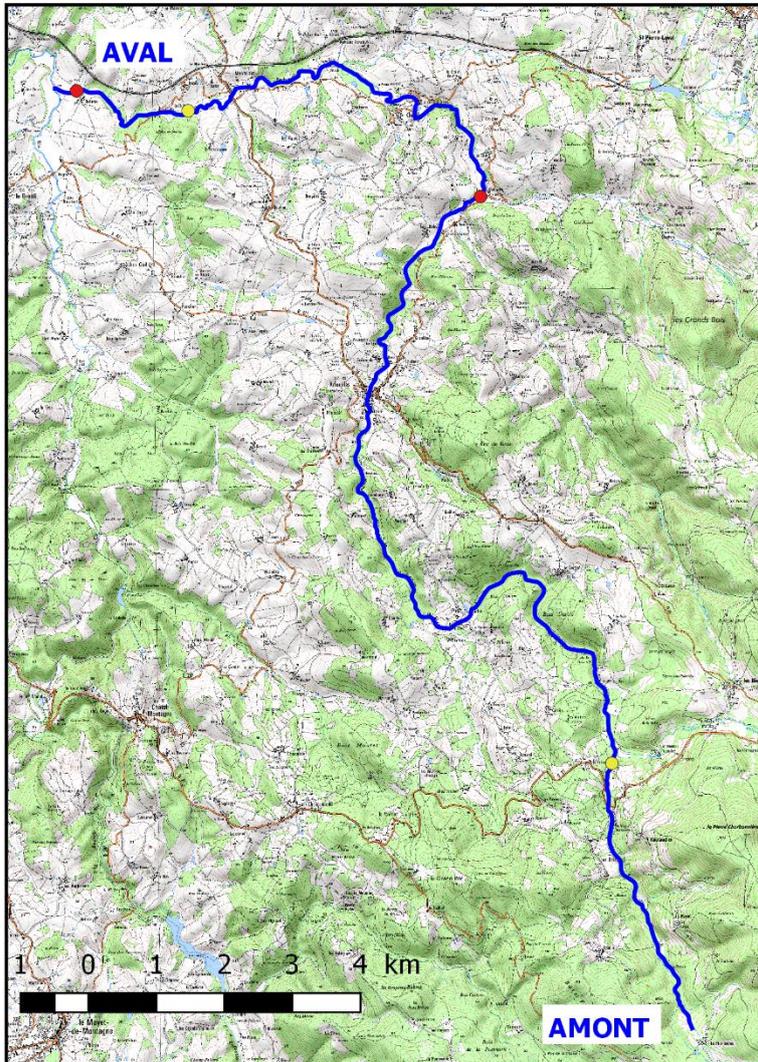


Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, Corine Land Cover 2006.

Annexe XIV : Carte de localisation des perturbations relevées sur les tronçons

**Localisation des tronçons de prospections avec des perturbations.**



Université Claude Bernard  Lyon 1

**Légende**

- Le Barbenan
- Perturbations**
- Passage à gué
- Zone d'abreuvement

Conception : Anaëlle CELLIER

Sources : IGN, Corine Land Cover 2006.

# La moule perlière sur le Barbenan : sa répartition et ses préférences d'habitats dans le cadre de mesures de restauration de la continuité écologique.

## Résumé

---

La moule perlière, *Margaritifera margaritifera*, est une espèce en danger critique en Europe. En effet, son cycle de vie complexe et ses exigences écologiques font d'elle une espèce vulnérable. Cependant, sa complexité fait aussi son efficacité en tant qu'espèce parapluie et espèce ingénieure. Dans le département de l'Allier, la rivière Barbenan abrite cette espèce. Des ouvrages faisant obstacle à la continuité écologique sont pourtant en place. Dans le cadre de la restauration écologique, mais aussi pour la moule perlière, la fédération départementale pour la pêche et la protection des milieux aquatiques de l'Allier se mobilise en faisant des arasements de seuils. En effet, ces constructions ont un impact négatif sur la moule perlière, sur l'ichtyofaune et sur la stabilité sédimentaire. L'objectif de cette étude est de mieux connaître la répartition et les préférences d'habitat de la moule perlière. Elle permet aussi un suivi des individus déplacés en 2017 dans le cadre d'arasement de seuils.

## Abstract

---

The freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera*, is a critically endangered species in Europe. Indeed, its complex life cycle and ecological requirements make it a vulnerable species. However, its complexity is also effective as an umbrella and engineer species. In the department of Allier, the Barbenan River is home for this species. Dams that hinder ecological continuity are in place. As part of the ecological restoration, but also for the freshwater pearl mussel, the "fédération départementale pour la pêche et la protection des milieux aquatiques de l'Allier" is mobilized by making leveling of thresholds. Indeed, these constructions have a negative impact on pearl mussels, ichthyofauna and sediment stability. The objective of this study is to know better the distribution and habitat preferences of the pearl mussel. It also allows tracking of displaced individuals in 2017 in the context of thresholds.