



Appel à projet : suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine

Suivi de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances Etat initial – année 2020



Rapport final – 12 novembre 2020

Projet porté par :



En partenariat avec :



Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Suivi de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances – Etat initial 2020



Appel à projet : suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine

Suivi de la population de Moule perlière de la Vienne amont par modèle mixte d'abondances entre 2014 et 2020

Rapport final – 12 novembre 2020

Photographies et illustrations :

Photo de couverture : Moule perlière adulte (Sources : C. LABORDE ©)

Toutes les photographies et illustrations présentées dans le rapport ont été réalisées par les auteurs (C. LABORDE ©, E. LE ROY ©, D NAUDON ©) et sont la propriété de ces derniers (sauf mentions contraires). Toute reproduction interdite sans l'accord des auteurs.

Ce rapport peut être cité comme suit :

LABORDE C., LE ROY E., NAUDON D., BESNARD A. ; 2020. Suivi scientifique de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances - Etat initial 2020. Commanditaire : DREAL Nouvelle-Aquitaine. 38 p.

Projet porté par :

En partenariat avec :



Tables des illustrations

Figure 1 : rappel du programme d'actions 2020	8
Figure 2 : cartographie de la stratégie d'échantillonnage mise en œuvre sur le Grand Rieux pour le suivi de population par comptage répété	11
Figure 3 : période et effort de prospection mis en œuvre en 2020	14
Figure 4 : résultats bruts du suivi par comptage répété en 2020 sur le Grand Rieux	15
Figure 5 : juvéniles de 3,4 cm et de 4 cm observés en 2020 sur le Grand Rieux (à droite, sources : G. Barthélémy)	16
Figure 6 : résultats bruts cartographiques du suivi par comptage répété sur le Grand Rieux	17
Figure 7 : vues sur des fonds limoneux peu favorables à l'espèce (à gauche) et des fonds gravier-pierre (à droite) abritant de plus fortes abondances d'après le modèle retenu.....	20

Table des matières

I. Enjeux et objectifs du projet	7
A. Contexte	7
B. Enjeux du projet	7
C. Objectifs du projet	8
II. Protocole de suivi par comptage répété	9
A. Principes, hypothèses et moyens nécessaires	9
B. Définition du plan d'échantillonnage	10
C. Modalité de mise en œuvre sur le terrain	12
D. Analyse des résultats des suivis par modèle mixte d'abondance	12
E. Intérêt et limites des suivis par modèle mixte d'abondance	13
F. Effort et période de prospection	14
III. Résultats du suivi scientifique par comptage répété sur le Grand Rieux	15
A. Résultats bruts	15
B. Modélisation et analyse des données	18
C. Modèle retenu et résultats	19
D. Synthèse et suite à donner	20
IV. Conclusion et perspectives	21
V. Bibliographie	22
VI. Annexes	26
A. Annexe n° 1 - présentation de la Mulette perlière - <i>Margaritifera margaritifera</i>	26
B. Annexe n° 2 - responsabilité régionale vis-à-vis de la Moule perlière	31
C. Annexe n° 3 – problématique de détection des bivalves en rivières	34
D. Annexe n° 4 - fiches terrain pour le relevé des co-variables environnementales	35
E. Annexe n° 5 – co-variables relevées en 2020 pour le suivi du Grand Rieux	36
F. Annexe n° 6 - présentation des porteurs de projet	37

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Suivi de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances – Etat initial 2020

I. Enjeux et objectifs du projet

A. Contexte

L'Europe et la France se sont engagées à assurer la préservation de la Moule perlière-*Margaritifera margaritifera* (annexe 1), de la Mulette épaisse – *Unio crassus* et de la Grande mulette (*Margaritifera auricularia*), notamment dans le cadre de la Directive Habitat Faune Flore du 21 mai 1992.

La Mulette perlière (et la Grande Mulette) a également fait l'objet en 2001 d'un plan d'action européen qui décline un ensemble de grands objectifs pour sauver ces espèces de l'extinction (ARAUJO & RAMOS 2001a).

En réponse à cette initiative européenne, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement et de l'Aménagement du Territoire (MEEDAT) a décidé la rédaction d'un Plan National d'Actions pour les náyades de France, à savoir la Grande Mulette et la Mulette perlière. L'état de conservation des populations au sein du réseau Natura 2000 métropolitain est considéré comme « défavorable » et « mauvais » (INPN).

La Moule perlière est une espèce strictement protégée en France (tout comme la Mulette épaisse), en danger à l'échelle mondiale (UICN, 2018), en danger critique d'extinction en Europe (UICN, 2011), et voit ces dernières années son aire de répartition nationale régresser rapidement (CR* en région centre depuis 2012 (UICN)). L'état de conservation des populations au sein du réseau Natura 2000 métropolitain est considéré comme « défavorable » et « mauvais » (INPN).

La Mulette épaisse quant à elle bénéficie d'un statut de conservation relativement plus favorable, considérée comme vulnérable en Europe (UICN, 2011), en danger dans la Région Centre (UICN, 2012) et en danger critique d'extinction en Alsace (UICN, 2014). L'état de conservation des populations au sein du réseau Natura 2000 métropolitain est considéré comme « défavorable » et « mauvais » (INPN).

B. Enjeux du projet

Le projet porté par LNE en 2020, avec l'appui technique de la SLEM, de Nature et Environnement Consultant et de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE), s'organise autour de 2 enjeux à l'échelle de la Nouvelle Aquitaine en travaillant sur la Mulette perlière et la Mulette épaisse, deux espèces d'intérêt communautaire au titre de Natura 2000.

Ces deux enjeux ont été définis ainsi :

- Enjeu 1 - Harmoniser les protocoles d'inventaires et de suivis scientifiques sur la Moule perlière,
- Enjeu 2 - Poursuivre l'amélioration des connaissances scientifiques sur l'espèce en réalisant des inventaires et des suivis des populations.

C. Objectifs du projet

Pour chaque enjeu, nous avons ensuite dégagé des objectifs opérationnels concrets qui sont présentés dans la figure 1.

Enjeux et objectifs prévus	
Enjeu 1	Harmoniser les protocoles d'inventaires et de suivis scientifiques sur la Moule perlière
E1-O1	Travail sur les protocoles d'inventaire au bathyscope
E1-O2	Harmonisation des pratiques et rédaction de protocoles
E1-O3	Analyse et propositions (Biostatisticien)
Enjeu 2	Poursuivre l'amélioration des connaissances scientifiques sur l'espèce en réalisant des inventaires et des suivis des populations
E2-O1	Réalisation d'inventaire de contrôle des populations anciennes sur les sites Natura et hors sites Natura
E2-O2	Réalisation d'inventaire des zones blanches sur les sites natura 2000 concernés
E2-O3	Caractérisation des populations - taille, dynamique...

Figure 1 : rappel du programme d'actions 2020

Le présent rapport constitue un extrait du rapport principal (Laborde et Al., 2020), concernant le suivi de population de Moule perlière du Grand Rieux, dont l'année 2020 constitue un état initial.

II. Protocole de suivi par comptage répété

A. Principes, hypothèses et moyens nécessaires

Ces méthodes mobilisent les Indices d'abondance évoqués tout en tirant parti de leurs répétitions dans le temps long, sur de nombreuses sous-unités. Pour cela les méthodologistes ont utilisé tout le corpus théorique et les outils développés pour les CMR, mais en **utilisant des données issues des suivis de sites au lieu des suivis d'individus**.

Il sera également utile et nécessaire de connaître (ou du moins d'en avoir une idée) du taux d'enfouissement (protocole d'estimation du taux d'enfouissement) dans des conditions similaires à la zone d'étude et / ou à chaque type de sous unités définies, pour pouvoir réaliser ces estimations et ces comparaisons entre sites tout en limitant les biais.

Modèles mixtes d'abondance à mélange - N-mixture models (Royle, 2004)

Principe

Cette méthode s'appuie sur des comptages d'individus répétés spatialement (plusieurs sites) et temporellement (plusieurs passages) qui permettent ensuite d'estimer la probabilité de détection individuelle p et l'abondance par site.

Hypothèses et règles d'utilisation

- Il n'y a pas de changement d'abondance sur les sites au sein d'une saison (entre la première et la dernière visite), i.e. population fermée (H1),
- Les détections au sein de chaque site sont constantes et indépendantes entre les visites. Néanmoins, des variations peuvent être modélisées à l'aide de covariables (H2),
- Les comptages doivent être distribués selon une loi déterminée au préalable, i.e. loi de Poisson, Négative binomiale, Zero-inflated (H3).

Moyens humains et matériels : temps imparti : 1 journée-homme (préparation suivi)
10 journées-hommes (terrain)
9 observateurs mobilisés
1 bathyscope non éclairé, waders
Bombe de peinture forestière, rubalise
Feuilles et stylos
Décamètre ruban, topofil
GPS
1 minuteur

Pré-requis nécessaire : connaître l'aire de répartition de l'espèce sur la zone d'étude

B. Définition du plan d'échantillonnage

Pour définir ce plan d'échantillonnage, et notamment le nombre de sous-unités, il existe un logiciel gratuit nommé GENPRES © (en anglais) qui permet de tester différents scénarii à partir du moment où vous avez déjà une idée **du taux de détection et du pourcentage de sites globalement occupés** sur la zone que vous voulez étudier. Ce logiciel construit ce que l'on nomme des « tests de puissance ».

Il peut être utile de définir de plus petites unités d'échantillonnage, et ainsi augmenter le nombre d'unités suivies, notamment afin d'augmenter la précision des résultats. Cela permet aussi de rendre les abondances moins variables ce qui facilite l'obtention des estimations d'abondance avec cette approche.

Le plan d'échantillonnage aléatoire systématique mis en œuvre (figure 2) repose sur 18 unités de 50 ML x 4 ML, placées tous les 200 ML le long du cours d'eau, sur un secteur de présence connue historiquement.

L'échantillon représente ainsi 33 % de la zone d'étude, ce qui est largement supérieur aux recommandations (>10%).



Amélioration des connaissances des bivalves de la DHFF Stratégie d'échantillonnage pour le suivi de population par comptage répété sur le Grand Rieux

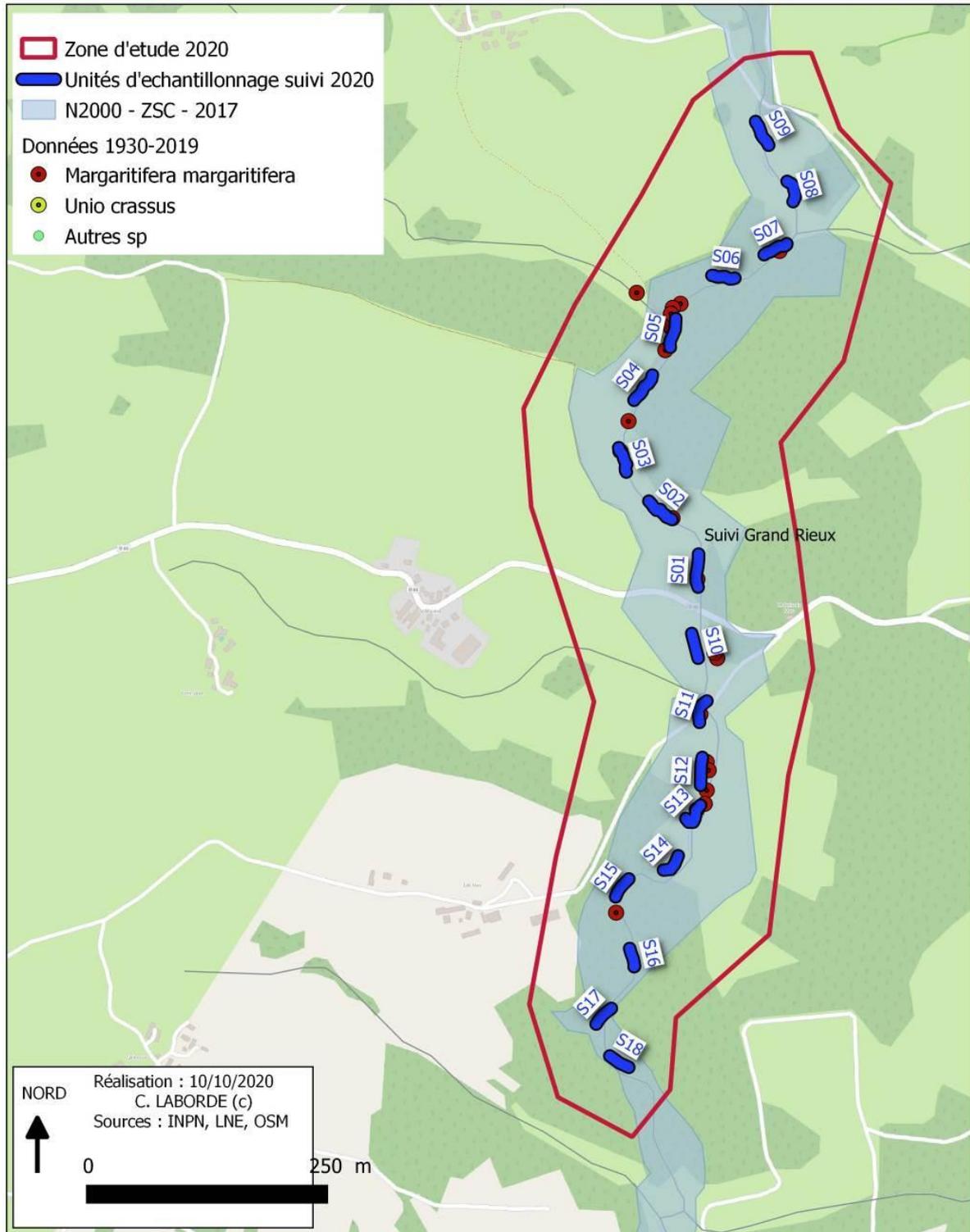


Figure 2 : cartographie de la stratégie d'échantillonnage mise en œuvre sur le Grand Rieux pour le suivi de population par comptage répété

C. Modalité de mise en œuvre sur le terrain

Un observateur installe les stations, équipé par exemple d'une tablette terrain avec l'application QField ©, avec des marques temporaires (rubalise amont / aval / points intermédiaires). Chaque station est prospectée à plusieurs reprises (5 passages sur le Grand Rieux) étalées dans un temps relativement restreint (les passages ont été réalisés consécutivement sur la même demi-journée) afin de viser le respect de l'hypothèse H1, mais suffisamment long pour rendre indépendantes (ne pas mémoriser ou se rendre sur le terrain avec les données du précédent passage) les observations entre chaque passage (H2). Les différents observateurs n'échangent pas sur leurs observations entre les sites.

Lors de chaque passage, la prospection se fait de l'aval vers l'amont, au bathyscope, à raison de 7,5 minutes pour 100 m² (soit 15 minutes / station sur le Grand Rieux). Il faut lors de chaque passage dénombrer précisément le nombre d'individus détectés.

Dès lors, on peut construire des histoires de détection de l'espèce cible, équivalentes aux histoires de capture des CMR, avec cette fois-ci les sites en lignes et les passages en colonnes.

Contrairement aux CMR, l'histoire de capture ne sera pas uniquement composée de 0 et de 1, mais de l'abondance observée lors de chaque passage.

D. Analyse des résultats des suivis par modèle mixte d'abondance

Les modèles « N-Mixture » sont des outils statistiques robustes qui vont comparer les résultats de comptages répétés sur les différents sites d'étude. Cela permet ensuite de modéliser les probabilités de détection des individus, la détectabilité de l'espèce par station, et donc d'estimer l'abondance de la population sur la zone d'étude.

Plusieurs modèles peuvent être comparés pour explorer l'impact de covariables (les paramètres hydromorphologiques, l'effet observateur...) sur la probabilité de détection des individus ou sur l'abondance locale. Ceci peut se faire avec le logiciel gratuit mais lui aussi en anglais nommé PRESENCE © ou à l'aide du package '*unmarked*' dans R.

Le modèle retenu propose alors :

- Une estimation de l'abondance totale sur chaque station, avec un intervalle de confiance (en augmentant le nombre de passages, on diminue cet intervalle),
- Une estimation de la détectabilité propre à chaque station, et une détectabilité globale, avec des intervalles de confiance,

Sur la base d'un échantillonnage aléatoire, il est alors possible d'extrapoler les résultats à l'ensemble de la zone d'étude qui a été définie.

Notons que les intervalles de confiance des abondances estimées par ces méthodes sont souvent très larges. Ces protocoles nécessitent par conséquent **le suivi d'un grand nombre de sites au cours de nombreuses sessions.**

E. Intérêt et limites des suivis par modèle mixte d'abondance

Rappelons tout d'abord que ces méthodes sont relativement récentes (mais en plein développement) et posent des hypothèses statistiques supplémentaires qui ne sont pas toujours vérifiées ou vérifiables. Il est **fortement recommandé de consulter des spécialistes des méthodologies** en avant de leurs mises en œuvre.

En répétant cette méthode dans le temps, on peut utiliser les modèles mixtes d'abondance dynamique permettant d'estimer les taux de croissance des populations.

Elle nécessite un fort investissement en temps de travail, notamment quant au nombre de passages à réaliser, qui peut augmenter en cours de suivi en lien avec la précision des premiers résultats.

F. Effort et période de prospection

L'ensemble des prospections terrain réalisées en 2020 dans le cadre de la présente étude est présenté dans la figure 3. Cette figure n'inclue pas les réunions et le temps de préparation, notamment pour la mise en œuvre des suivis.

Synthèse des prospections réalisées dans le cadre de l'étude				
Date	Heures	Conditions météorologiques	Objet de la prospection	Auteur de la prospection
19-juin-20	9h à 17h30	Temp. : 19°C Ensoleillement : 3/8 Vent : 1/8	Suivi de population Grand Rieux	Cyril LABORDE, Ellen LEROY, Frédéric NOILHAC, Elina MELET-GAREL, Aurélien LOPEZ
22-sept-20	9h à 17h	Temp. : 18°C Ensoleillement : 3/8 Vent : 2/8	Suivi de population du Grand Rieux	Cyril LABORDE - Gilles BARTHEMEY - Jérôme YVERNAULT - Aurélie FOUCOUT - Rémi GERBAUD

Figure 3 : période et effort de prospection mis en œuvre en 2020

III. Résultats du suivi scientifique par comptage répété sur le Grand Rieux

Site(s) Natura 2000 concerné(s) :
FR7401146 Vallée du Taurion et affluents

A. Résultats bruts

L'étude 2020 a été réalisée en deux sessions de terrain, organisées le 19 juin puis le 22 septembre 2020, avec 5 observateurs lors de chaque session (merci au CEN NA, à la DDT 23 et à l'OFB 23, qui ont soutenu notre projet).

L'ensemble des unités d'échantillonnage prévues ont été prospectées à cinq reprises, sauf les stations 17 et 18 qui n'ont été prospectées que 4 fois (figure 4). Des co-variables environnementales ont également été relevées systématiquement (annexe 5).

Tronçon (unité)	N obs 1 (CL)	N obs 2 (AL)	N obs 3 (EL)	N obs 4 (FN)	N obs 5 (EMG)	Longueur réelle en ML	Largeur moyenne en ML	Surface estimée en m ²	N - Max des 5 passages
1	22	63	38	23	8	71	4	284	63
2	3	0	1	1	4	67	3	201	4
3	12	13	7	7	7	57	2,5	142,5	13
4	82	74	155	68	54	68	3	204	155
5	122	92	119	38	17	63	4	252	122
6	225	151	235	205	148	50	3,5	175	235
7	43	60	71	52	29	55	4	220	71
8	68	54	138	146	67	53	2,5	132,5	146
9	50	27	32	29	21	59	2,5	147,5	50
Tronçon (unité)	N obs 1 (CL)	N obs 2 (JY)	N obs 3 (AF)	N obs 4 (GB)	N obs 5 (RG)	Longueur réelle en ML	Largeur moyenne en MM	Surface estimée en m ²	N - Max des 5 passages
10	147	123	90	149	44	54	2	108	149
11	126	107	97	194	31	53	3	159	194
12	19	15	32	24	6	59	2	118	32
13	17	10	8	14	5	60	4	240	17
14	0	0	0	0	0	60	4	240	0
15	3	0	1	0	1	49	5	245	3
16	1	0	0	0	0	41	5	205	1
17	0	0	NP	0	0	47	2	94	0
18	0	0	0	NP	0	47	2	94	0

	temps de prospection dépassé (> 25%)
NP	non prospecté

Figure 4 : résultats bruts du suivi par comptage répété en 2020 sur le Grand Rieux

Les différences d'abondances observées entre les passages illustrent bien le fort biais lié à la détectabilité lors d'un dénombrement.

En cumulant les abondances maximums observées lors de chaque passage, on obtient une abondance minimale de 1255 moules perlières vivantes, sur les 3261 m² étudiés, soit 0,38 individu par mètre carré en moyenne.

L'échantillonnage étant aléatoire, il est représentatif de l'ensemble de la zone d'étude ce qui porterait l'abondance minimale à 3765 individus sur la zone d'étude de 3 km.

Notons l'observation d'un juvénile de 3,4 cm sur S09, d'un second de 4 cm sur S11 (figure 5), ainsi que d'un pavage d'au moins 150 individus réparti sur moins de 2 m² (station S06).



Figure 5 : juvéniles de 3,4 cm et de 4 cm observés en 2020 sur le Grand Rieux (à droite, sources : G. Barthélémy)

Enfin, en 2005, Gilles Barthélémy de l'OFB avait réalisé le comptage de 1305 individus sur 270 mètres linéaires entre les ponts de la RD43 et de la route de Las Vias, en un passage unique d'inventaire.

L'étude du ratio des résultats 2020 du même observateur sur les stations S10 et S11 (soit 343 individus sur 107 mètres linéaires) sur les résultats de 2005 suggère un taux de multiplication de l'espèce de 0,66 soit une régression estimée de la population de 34 % sur ce petit secteur.

Ce résultat est à prendre avec précaution, l'effort de prospection entre les deux passages n'étant pas le même.

Notons également que 27 coquilles ont été trouvées en 2020 au cours du suivi 2020, soit 2,11% du total des observations.

Ce résultat peut être mis en lien avec la sécheresse et les assècs partiels de septembre 2019, suggérant une mortalité assez limitée lors de cet épisode.



Amélioration des connaissances des bivalves de la DHFF
Stratégie d'échantillonnage pour le suivi de population par
comptage répété sur le Grand Rieux

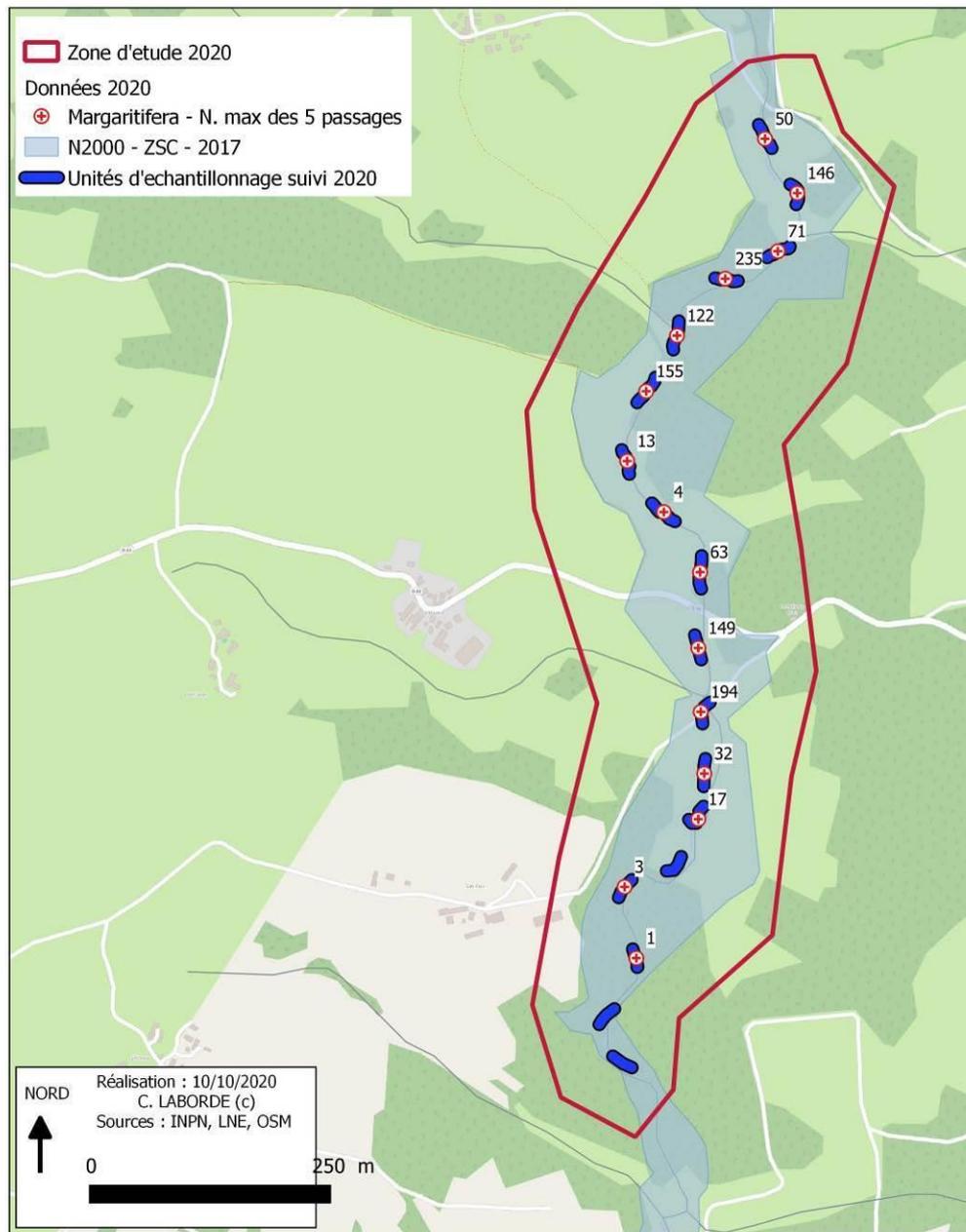


Figure 6 : résultats bruts cartographiques du suivi par comptage répété sur le Grand Rieux

B. Modélisation et analyse des données

Le jeu de données du Grand Rieux (figure 6) correspond à des relevés d'abondance sur 18 tronçons qui ont fait l'objet de 4 à 5 passages, avec des observateurs de niveau d'expertise assez variable, noté de 1 (expert) à 3 (débutant) afin d'optimiser l'analyse des données.

Un certain nombre de co-variables environnementales a également été relevé (annexe 5).

Du fait des passages répétés il est possible d'analyser ces données avec des modèles de type « N-mixture » pour estimer l'abondance moyenne par tronçon tout en gérant les problèmes de détection.

Il est également possible de tester l'impact de co-variables sur l'abondance ou la détection dans ces modèles. L'examen des données brutes montre qu'il y a une hétérogénéité très forte des abondances entre les tronçons, avec des valeurs autour de 200 mais aussi à l'extrême inverse des 0 ou des abondances très faibles.

1. Analyses N-mixture dans un cadre fréquentiste

Une première analyse de ces données avec des modèles de N-mixture dans un cadre fréquentiste sous R à l'aide du package « *unmarked* » montre que le modèle s'ajustant le mieux aux données est celui reposant sur une distribution Binomiale Négative des données comme attendu du fait de la très forte dispersion des abondances par tronçon.

Malheureusement un examen attentif des conditions de validité du modèle (notamment la stabilisation des estimations en modifiant la valeur de K – paramètre de l'intégrale en N-mixture) montre que le modèle ne s'ajuste pas aux données.

Nous avons alors testé les modèles sur un jeu de données « réduit », en excluant les sites avec des abondances maximums détectées inférieures à 10 (soit en enlevant les résultats sur S02 et sur S14 à S18), mais cela ne résout malheureusement pas le problème. L'approche N-mixture en fréquentiste ne permet donc pas de modéliser ces données sans risque de mauvaise interprétation.

2. Analyses N-mixture dans un cadre bayésien

Nous avons ensuite fait le choix d'analyser ces données avec des modèles de N-mixture mais dans le cadre bayésien.

Ce cadre présente à la fois des avantages et des inconvénients.

- Le principal avantage est qu'il autorise le codage d'une variance inter-site des abondances et de la détection à l'aide d'effets aléatoires « site » ou « site-passage ». Ceci doit permettre de gérer la forte hétérogénéité des abondances détectées entre tronçons mais aussi entre passages pour un même tronçon.
- Il y a deux inconvénients à cette approche : il est plus complexe de développer des modèles pour tester l'effet de co-variables sur l'abondance ou la détection, et surtout les modèles sont très longs à faire tourner (chaque modélisation dure plusieurs heures).

Ces contraintes limitent la possibilité de tester de nombreux modèles. De ce fait, nous n'avons pu tester que 3 co-variables :

- l'effet du niveau d'expertise de l'observateur sur la probabilité de détection,
- l'effet du substrat sur l'abondance,
- l'effet de l'occupation des sols des parcelles riveraines sur l'abondance.

Les modèles sont ajustés avec « jags » piloté sous R ©.

Un premier essai sur l'ensemble du jeu de données complet montre que la convergence des modèles est très mauvaise et les estimations donc probablement peu fiables.

Les tests réalisés sur un jeu de données réduit excluant tous les sites avec des abondances détectées inférieures à 10 (en enlevant les résultats sur S02 et S14 à S18) montrent que la convergence est satisfaisante même si quelques problèmes persistent. Ce sont les résultats de cette dernière analyse qui sont retenus.

3. Analyses en « *site occupancy* »

Les données de l'ensemble des tronçons ont aussi été analysées avec des modèles de « *site occupancy* » en présence-absence.

Ces modèles estiment la probabilité d'occupation des tronçons à 0,83 avec un intervalle de confiance à 95% de [0,59-0,95].

La probabilité de détecter l'espèce sur un tronçon sur lequel elle est présente est de 0,91 [0,82-0,95] dans le cadre du présent protocole.

A noter que cette probabilité est sûrement fortement liée aux nombreux tronçons avec de fortes abondances présents dans le jeu de données et pourrait donc être plus faible sur les tronçons avec de faibles effectifs.

C. Modèle retenu et résultats

Sur le Grand Rieux, le modèle retenu est donc celui réalisé en N-mixture dans un cadre bayésien, sur le jeu de données en excluant tous les sites avec des abondances détectées inférieures à 10.

Ainsi, sur les stations S01 et S03 à S13, l'effet du niveau d'expertise des observateurs est très net sur la détection avec une détection individuelle estimée à 0,52 pour un observateur de niveau expert (1) alors qu'elle n'est que de 0,28 pour un observateur de niveau débutant (3).

L'abondance moyenne par tronçon a peu de sens au vu de l'hétérogénéité. L'abondance totale sur l'ensemble des 12 tronçons (S01 et S03 à S13) est estimée à 2261 individus avec un intervalle de confiance à 95% très large [1482 – 11209]. La largeur de cet intervalle de confiance est liée aux problèmes de convergence identifiés. Nous conseillons dans ce cas de prendre un intervalle de confiance à 80%, moins conservatif mais qui permet de discuter plus aisément des estimations obtenues. Cet intervalle de confiance à 80% est alors de [1626-6016] individus.

Le modèle visant à tester l'effet des substrats (figure 7) n'a pas convergé malgré de nombreux tests, probablement car le nombre de tronçons est trop faible. Il suggère cependant une plus forte abondance sur des substrats dominés par du gravier, que sur les substrats limoneux puis sableux.



Figure 7 : vues sur des fonds limoneux peu favorables à l'espèce (à gauche) et des fonds gravier-pierre (à droite) abritant de plus fortes abondances d'après le modèle retenu

Enfin, le modèle visant à tester l'effet de l'occupation des sols sur les parcelles riveraines suggère qu'il n'y a pas de différence significative d'abondance moyenne entre milieux forestiers et milieux prairiaux.

D. Synthèse et suite à donner

Le suivi de population de Moules perlières du Grand Rieux a pu être réalisé en 2020 avec un modèle N-mixture dans un cadre bayésien.

Il a permis d'estimer qu'il y a 2261 individus avec un IC à 80% [1626-6016] sur les 12 stations échantillonnées et retenues pour la modélisation (S01 et S03 à S13, d'une surface cumulée de 2182 m²), soit une densité moyenne estimée à 1,03 individu par m², ce qui est remarquable.

L'échantillonnage étant aléatoire, il peut être considéré comme représentatif (33% échantillonnés) de la zone d'étude. En incluant S01 et S03 à S13, l'abondance globale peut alors être estimée à 6852 individus sur un linéaire de 2127 mètres.

Ces éléments pourront notamment alimenter le projet d'APPB en cours sur ce site exceptionnel qui présente encore des pavages, quelques juvéniles et surtout de fortes densités de Moules perlières, malgré la quasi absence de Truite fario.

Une étude plus poussée permettant de corrélérer les causes d'impacts visibles aux paramètres mésologiques affectés (état et nature des berges et du lit) permettrait un meilleur ciblage des actions à mettre en œuvre en faveur de l'espèce sur ce site.

Nous préconisons que ce suivi soit répété à l'identique (protocole, stations de suivi, matériel) d'ici 5 à 7 ans, soit entre 2025 et 2027.

IV. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis d'établir un état initial de population de Moule perlière du Grand Rieux, espèce d'intérêt communautaire au titre de la Directive Habitat Faune Flore, par une méthode de suivi accessible, et reproductible dans le temps.

Après ces deux années de travail qui ont permis la production, la diffusion et le test de protocoles standardisés de suivis scientifiques de populations de bivalves, il appartient désormais aux animateurs et animatrices Natura 2000 de mettre en œuvre les suivis de populations sur leurs sites, mais également partout sur le territoire, via les CTMA et autres programmes.

Pour ce faire, les collectivités et les associations peuvent compter sur un appui technique de la part des porteurs du projet qui veilleront à une large diffusion de ce travail. De par la sensibilité des espèces cibles, les données brutes ne sont pas diffusées ou localisées précisément dans le présent rapport. Cependant, elles peuvent être mises à disposition sur demande auprès de Limousin Nature Environnement.

V. Bibliographie

APHLP. 2003. Etude de la population de Moules perlières *Margaritifera margaritifera* sur la Dronne cristalline en Dordogne. Rapport d'étude pour le PNR Périgord Limousin. 26pp.

ARAUJO, R. & M. A. RAMOS 2001. - Action plans for *Margaritifera auricularia* and *Margaritifera margaritifera* in Europe. Council of Europe Publishing, Strasbourg, 64 pp.

ARCHAMBAUD G., GIORDANO L., DUMONT B., 2005 : Description du substrat minéral et du colmatage. Note technique. Cemagref Aix-en-Provence, UR Hydrobiologie.

AUTIER, C. 2009. Etude de populations de Moules perlières et des milieux associés sur la Haute Cure, Parc Naturel Régional du Morvan, 37pp.

BARTHELEMY G., 2011. La moule perlière, emblème de la pureté de nos eaux : histoire d'une évolution aux côtés de l'homme, de l'Europe à la Creuse, Mémoires de la Société des Sciences naturelles, archéologiques et historiques de la Creuse – Tome 56e 201°/2011 – p. 5-19.

BAUER, G. 1987. - Reproductive strategy of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. Journal of Animal Ecology 56: 691-704. BAUER, G. 1998. - Allocation policy of female freshwater pearl mussels. Oecologia 117: 90-94.

BEAUFILS, 2012. Suivi de populations de Mulette perlière par CMR. Présentation du PNR Normandie Maine lors des rencontres interrégionales à Nedde (87) du 22/11/2012.

BESNARD A. & J.M. SALLES, 2010. Suivi scientifique d'espèces animales. Aspects méthodologiques essentiels pour l'élaboration de protocoles de suivis. Note méthodologique à l'usage des gestionnaires de sites Natura 2000. Rapport DREAL PACA, pôle Natura 2000. 62 p.

BONNEMERE, L. 1901.- Les mollusques des eaux douces de France et leurs perles. Publié par Institut international de bibliographie scientifique, 1901, Paris, 154 pp.

BOUCHET, P. 1990. - La malacofaune française: Endémisme, Patrimoine naturel et Protection. Revue d'Ecologie (la Terre et la Vie) 45: 259-288.

BOUCHET, P., G. FALKNER & M. B. SEDDON 1999. - Lists of protected land and freshwater molluscs in the Bern Convention and European Habitats Directive: are they relevant to conservation? Biological Conservation 90 (1): 21-31.

BUDDENSIEK, V. 1995. - The culture of juveniles freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: a contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirement. Biological Conservation 74: 33-40.

COCHET, G. 1998.- Inventaire des cours d'eau à *Margaritifera margaritifera* en France. Ministère de l'Environnement, pp.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Suivi de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances – Etat initial 2020

COCHET, G. 1999b. - Le statut des Margaritiferidae de France (Mollusca, Bivalvia, Unionacea, Margaritiferidae). *Vertigo* 6: 27-31.

COCHET, G. 2000. - Inventaire des cours d'eau à *Margaritifera margaritifera* en France. Paris, Ministère de l'environnement et Direction de l'eau: 175 pp.

COCHET G. 2002 : *Margaritifera margaritifera*, la Mulette perlière – In : Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 7. Espèces animales. La documentation Française. Paris. 353 p.

COCHET, G. 2004.- La Moule perlière et les nayades de France. Histoire d'une sauvegarde. Christian Bouchardy, Nohanent, 32 pp.

COCHET, G. 2008 : Moule perlière et Grande Mulette en France : vers une prochaine extinction, *Penn ar Bed*, 203 : 18-24.

CPIE Collines Normandes, 2018, suivis de la survie et de la croissance depuis 2015 sur les bassins de l'Airou, de la Rouvre, et du Sarthon. Bilan intermédiaire PNA et programme Life, 32p.

CUCHERAT X., 2014. Quand les Mulettes se cachent lorsque l'on veut les compter. Poster présenté au Colloque International sur la conservation de la Moule perlière à Brest, le 27 novembre 2014. Biotope.

HASTIE, L. C., M. R. YOUNG, P. J. BOON, P. J. COSGROVE & B. HENNIGER 2000c. - Sizes, densities and age structures of Scottish *Margaritifera margaritifera* (L.) populations. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 10: 229- 247.

HUMBERT L., BARTHELEMY G., SZREMSKI W., 2009. Note méthodologique de localisation et de caractérisation des cours d'eau à *Margaritifera margaritifera* dans le Massif central (V1) : Présentation de l'espèce - Caractérisation des sites favorables

KUEHN R. & GEIST J., 2014. Analyses génétiques de 8 populations de moules perlières (*Margaritifera margaritifera*) et analyse du substrat des rivières de la région Limousin (France). Rapport d'étude pour ASF et LNE. 23 p.

LABORDE, C. 2017. « Mise en œuvre d'un programme de formation auprès des techniciens rivières, des pêcheurs, des étudiants de GPN et des sympathisants de la SLEM sur le bassin versant Adour Garonne de la Corrèze ». Commanditaire : Société Limousine d'étude des Mollusques (SLEM).

LABORDE C. ; NAUDON D. ; MARCILLAUD C. ; BESNARD A. , 2019. « Estimation de population et détectabilité de la population de Moules perlières entre Nedde (87) et Tarnac (19) sur la haute vallée de la Vienne par les méthodes de comptage mixte répété (N-Mixture) ». *Revue Plumes de Naturalistes*.

LABORDE C., LEROY E., NAUDON D., BESNARD A. ; 2020. Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Amélioration des connaissances concernant les bivalves de la DHFF sur les principaux bassins versants de Nouvelle-Aquitaine. Commanditaire : DREAL Nouvelle-Aquitaine. 106 p.

LABORDE B. et LBORDE C., (2019). « Structure et dynamique de population de la Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) sur la haute vallée de la Vienne ». Revue Plumes de Naturalistes.

LAMAND F., BEISEL J.N., 2004. Proposal for a simple hydromorphological habitat survey method for freshwater bivalve (Unionidae) inventories. Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

MOORKENS, E. A. 2000. - Conservation Management of the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera*. Part 2: Water Quality Requirements. Irish Wildlife Manuals, No. 9, 44 pp.

NAGEL, K.-O. 2000. - Testing hypotheses on the dispersal and evolutionary history of freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionidae). Journal of Evolution Biology 13: 854-865.

NAUDON D., 2018. Bilan annuel du Plan Régional d'Action en faveur de la Moule perlière en Limousin. Version provisoire.

NAUDON D. , FOUCOUT A. BARTHELEMY G. 2018. Suivi de gravidité et mise en contacts de glochidies avec leurs poissons hôtes en vue de leurs réintroductions dans le milieu naturel. Non publié.

OTIS, D. L., K. P. Burnham, G.C.White, and D.R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. Wildlife Monographs, 62.

PRIE, V. 2009. - The Giant Pearl Mussel : A new location discovered in France increases significantly the known number of living individuals. Tentacle 17 (January 2009): 17-18.

PRIE V., 2017. Naïades et autres bivalves d'eau douce de France. Biotope, Mèze, Museum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaire & biodiversité), 336p.

PRIE, V., G. COCHET & L. PHILIPPE 2008a. - La Grande Mulette *Margaritifera auricularia* dans l'Oise - Chronique d'une mort annoncée. Le Courrier de la Nature 239: 20-24.

PRIE, V., G. COCHET, L. PHILIPPE, H. RETHORET & R. FILALI 2008b. – Une population majeure de la très rare Grande Mulette *Margaritifera auricularia* (Spengler 1793) (Bivalvia : Margaritiferidae) dans le fleuve Charente (France). MalaCo 5: 230- 239.

PRIE, V., L. PHILIPPE & G. COCHET 2007. - Evaluation de l'impact d'un projet de canal sur les naïades de l'Oise (France) et découverte de valves récentes de *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Bivalvia : Margaritiferidae). MalaCo 4: 178-182.

ROYLE, J. A. (2004) N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. Biometrics, pp 108-115.

SMITH D.R., ROGALA J.T., GRAY B.R., ZIGLER S.J., NEWTON T.J., 2009, « Evaluation of single and two stage adaptive sampling designs for estimation of density and abundance - of freshwater mussels in a large river », River Research and Applications, 27, 1, p. 122-133.

STRAYER, CLAYPOOL S., SPRAGUE S.J., 1997, « Assessing unionid populations with quadrats and timed searches », K. S. Cummings, A. C. Buchanan, C. A. Mayer, and T. J. Naimo (eds.). Conservation and Management of Freshwater Mussels II: Initiatives for the Future. Proceedings of a UMRCC Symposium, 16-18 October 1995, St. Louis, Missouri, p. 163-169.

STRAYER D.L., SMITH D.R., 2003, A guide to sampling freshwater mussel populations, Bethesda, Md, American Fisheries Society (American Fisheries Society monograph), 103 p.
THOMPSON, W.L. (dir.), 2004, Sampling rare or elusive species: concepts, designs, and techniques for estimating population parameters, Washington, Island Press, 429 p.

VRIGNAUD, S. 2007. Différentes techniques de détermination de l'âge et du sexe des moules perlières, *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Bivalvia, Margaritiferidae). MalaCo, 4 : 222-224.

VRIGNAUD S., 2007a. Numéro spéciale : Corbicules. Margaritifera. Bulletin de liaison de la cartographie des mollusques de l'Allier 6. non paginé. Moulins.

YOUNG M.R., HASTIE L.C., COOKSLEY S.L., 2003, Monitoring the freshwater pearl mussel: *Margaritifera margaritifera*, Peterborough, English Nature, 22 p.

VI. Annexes

A. Annexe n° 1 - présentation de la Mulette perlière - *Margaritifera margaritifera*

➤ Généralités

Parmi les bivalves des cours d'eau, le groupe des naïades (« moules d'eau douce ») rassemble deux familles : les uniodiés et les margaritiféridés. La Moule perlière ou Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) est l'une des deux espèces de margaritiféridés présentes en Europe, la seconde étant la Grande mulette (*Pseudunio auricularius*). La famille des margaritiféridés est considérée comme la plus primitive des moules d'eau douce.



A gauche, Coquille de Moule perlière, au centre, Siphon inhalant et exhalant, à droite, Dents cardinales de la Moule perlière (Sources : C. LABORDE)

Le nom de genre, *Margaritifera*, donné par Linné en 1758, signifie « qui porte des perles », car effectivement, l'espèce produit de la nacre pour couvrir la couche interne de la valve, appelée hypostracum, et dans le cas où un corps étranger s'introduit entre le manteau et la coquille, la Moule perlière l'englobe de cette nacre, formant ainsi une perle. Néanmoins, il apparaît qu'une moule sur mille produit une perle. Le periostracum, épiderme recouvrant les valves, est de forme allongée en forme de rein ou de haricot, brun chez les jeunes individus et noir chez les adultes, du fait d'un recouvrement de Diatomées. La taille des coquilles peut atteindre 15 à 16 cm dans les pays Scandinaves, alors que le maximum connu en France est de 13 cm. La détermination des naïades est basée sur l'examen des « dents » qui s'emboîtent parfaitement lors de la fermeture des coquilles ; la Moule perlière possède deux dents dites cardinales sur la valve gauche et une seule sur la valve droite ; le caractère permettant de déterminer de façon certaine cette espèce est l'absence de dents latérales.

La Moule perlière vit dans des cours d'eau oligotrophes pauvres en calcaire, c'est pour cela qu'on la retrouve sur des anciens massifs de granite, gneiss, schistes et aussi de grès. C'est un filtreur qui se nourrit des particules peu décomposées transportées par le cours d'eau. L'espèce vit la tête en bas. Le manteau de la partie postérieure est muni de deux siphons, l'un d'aspiration et filtration via les cténidies, et l'autre d'exhalation, qui lui permettent de respirer et de se nourrir. Un individu adulte peut filtrer jusqu'à 50 litres d'eau par jour, et une population naturelle sur 10 km participe ainsi à la sédimentation de plus de 90% des particules de matière organique en suspension et réduisent ainsi la turbidité de l'eau (Cochet, 2000). Le sommet des valves, appelé umbo, est souvent détérioré car il s'agit de la partie de la coquille la plus âgée et donc la plus longuement sujette à l'érosion chimique et physique du cours d'eau. La moule adulte est sédentaire, et vit fixée dans le substrat par son pied, l'orifice inhalant face au courant.

Toutefois, son pied lui permet d'effectuer des déplacements limités qui peuvent s'observer par des sillons témoignant du passage de l'individu. Ce phénomène a pu être observé au cours de l'étude réalisée, comme l'attestent les photos ci-dessous, la moule était positionnée les siphons vers l'aval de la Vienne, et elle a ainsi remonté le cours d'eau sur quelques dizaines de centimètres, laissant derrière elle un sillon dans le gravier.



Moules perlières en déplacement observées sur la Vienne. (Sources : C. LABORDE)

➤ Un cycle biologique bien particulier

Les sexes sont séparés et il n'y a pas de dimorphisme sexuel chez la Moule perlière. Cependant, en cas de stress et de très faible densité, la femelle peut devenir hermaphrodite (Bauer, 1987).

Le taux de fertilité dépend de la taille des individus. L'évolution des populations de Moules perlières dépend de la nourriture charriée par le cours d'eau. En cas de manque de nourriture, les individus ont un développement plus lent, avec un âge retardé des premières reproductions, mais se reproduisent plus longtemps, jusqu'à plus de 80 ans (Bauer, 1998). Effectivement, sur la Vienne, où les eaux sont très pures, rares sont les individus observés dépassant 9 cm de longueur, alors que sur la Dronne (24), où les eaux sont très turbides, la majorité des individus ont des tailles supérieures à 10 cm.

Les ovules produits par la femelle se fixent sur ses cténidies. Le sperme, libéré par le mâle au début de l'été (Groh, 2000 in Vrignaud 2005) et en suspension dans l'eau, est filtré par les cténidies des femelles où la fécondation a lieu. Ainsi, la répartition des individus dans le cours d'eau influe fortement les taux de fécondité. Les larves sont incubées dans les quatre cténidies pendant plusieurs semaines (3 semaines en Ecosse, Hastier et Young, 2003 ; 4 semaines, Cochet, 2000).

Une femelle produit entre deux cent mille et plusieurs millions de gamètes par an, appelés glochidies ou glochidium. A ce stade, une glochidie mesure de 48 à 90 μm , et est formée de deux valves contenant un manteau larvaire, un muscle et quelques cellules sensibles à la surface du manteau (Perkkarinen and Valovirta, 1996). Elle ressemble à un petit lamellibranche muni d'un long filament et de crochets à l'extrémité des valves. Le naissain est produit entre fin juin et début septembre, et sa libération dans le cours d'eau semble déclenchée par des événements thermiques ou hydrologiques, répondant à la notion de degré-jour (Hastie et Young, 2003).

Néanmoins, les glochidies sont libérées presque simultanément au sein d'une même population (sur 1 ou 2 jours). Au moment de la libération des larves dans le cours d'eau, elles peuvent avoir atteint la taille de 200 (Vrignaud, 2005) à 500 μm (Cochet, 2000; Bauer, 1994). Elles ne peuvent survivre que quelques heures avant de parasiter un poisson hôte. Le taux de mortalité des larves entre leur libération dans le milieu et l'infestation du poisson-hôte est de 99,9996% (Young & Williams, 1984b). Les poissons-hôtes des larves de Moules perlières sont des salmonidés ; le Saumon Atlantique (*Salmo Salar*), absent sur la Vienne amont, et la Truite fario (*Salmo trutta fario*). La Truite arc-en-ciel (*Onchorynchis mykiss*), l'omble ou saumon de fontaine (*Salvenilus fontanilis*) peuvent également être « parasités » mais les chances de survie des glochidies au terme de la phase « parasitaire » sont souvent proches de zéro (Groh, 2000 in Vrignaud, 2005).

Les glochidies se fixent sur le système branchial de ses poissons-hôtes. Cette phase « parasitaire » peut suivre deux stratégies ; une phase courte de 20 à 60 jours avec libération des glochidies en fin d'été, ou une phase longue de 7 à 9 mois avec libération des larves au printemps et début de l'été après une période de repos hivernal (Cochet, 2004). Les deux stratégies ont déjà été observées au sein d'une même population et participent ainsi à l'aire de répartition de la Moule perlière. Selon Cochet, il faut au moins des densités de 2000 à 3000 truites à l'hectare pour assurer une bonne reproduction. Young & Williams (1984a) estiment à 5% le taux de survie des glochidies dans les branchies de truites, alors que Preston et al. (2007) indiquent une mortalité inférieure à 1% chez des truites aux Etats-Unis en conditions contrôlées.



Cycle de reproduction de la Moule perlière (L. Humbert & G. Barthelemy, ONEMA et M. Young)

Les glochidies se libèrent des branchies du poisson-hôte et se fixent jusqu'à 50 cm de profondeur dans le substrat (Cochet, 2004) dans lequel elles vont vivre de 2 à 5 ans. A ce stade, elles ne filtrent pas encore et cherchent leur nourriture dans le sédiment. Le régime alimentaire le plus approprié pour les moules juvéniles est constitué des produits de la décomposition de prairies inondables à graminées de type Vulpin des prés et Pâturin commune, graminées qui contiennent une teneur élevée en calcium nécessaire à la formation de la coquille (Vrignaud, 2002). Les juvéniles doivent trouver dans le sous-écoulement (hyporhéique) la même qualité d'eau que celle de la rivière au moins dans les 10 premiers centimètres.

Lorsque les moules juvéniles sortent du substrat, elles mesurent alors de 1,5 à 2 cm et leur périostacum est de couleur brune claire, puis devient plus sombre avec l'âge et en fonction de la trophie du milieu, comme l'attestent les photos suivantes de juvéniles observés sur la Vienne.



Photographie de Moules perlières observées sur la Vienne à différentes classes d'âge (Sources : C. LABORDE)

Les Moules perlières atteignent leur maturité sexuelle entre 12 et 20 ans (Kinet et Libois, 1999 ; Cochet, 2000, Groh, 2000 in Vrignaud, 2005 ; Merlet, 2008). Les différentes étapes qui conduisent à la maturité sexuelle sont caractérisées par de forts taux de mortalité : moins de 10 moules sur 1 million de glochidies (Bauer, 1989 ; Young et Williams, 1984). Elles peuvent rester fertiles jusqu'à plus de 80 ans (Bauer, 1998). La longévité de cette espèce varie selon la ressource en nourriture, ainsi les populations du Nord de l'Europe peuvent vivre jusqu'à 200 ans (Helama & Valorvita, 2008) alors que San Miguel et al (2004) donnent un âge maximum de 65 ans en Espagne.

La détermination de l'âge des individus est basée sur le comptage des stries de croissance annuelle visibles sur les valves ou sur le ligament. Des méthodes permettent de déterminer précisément l'âge de la moule après traitement des valves avec des solutions chimiques. K.Groh stipule que la Moule perlière réalise 2 à 3 stries par an observables sur la couche externe du périostacum.

➤ Une espèce bio indicatrice et parapluie

La Moule perlière est très sensible à la qualité et à la température de l'eau, en particulier au stade juvénile. Elle se retrouve en général dans des eaux de 0 à 23°C, ne survivant que quelques dizaines de minutes à une eau à 28°C (Araujo & Ramos, 2001a). La température serait le principal facteur de mortalité des juvéniles, suivie par les concentrations en magnésium et ammoniacque. Il apparait que la croissance et la survie des juvéniles sont inversement corrélées à la conductivité, la concentration en ammoniacque, nitrates, phosphates, sodium, potassium, calcium et magnésium ; tous ces paramètres étant des indicateurs d'eutrophisation (Buddensiek, 1995).

Les données issues d'études scientifiques menées au Royaume-Uni, en Allemagne, en Scandinavie et en Russie sur les exigences de la Moule perlière ont été rassemblées lors d'une mise en commun au sein d'une commission du Conseil de l'Europe. Il apparait que la Moule perlière ne peut plus se reproduire dès lors que la concentration en nitrates de l'eau dépasse 1 mg/L. Les individus adultes deviennent sensibles à partir de 7 mg/L, et des concentrations de 13 mg/L augmentent de 50% la mortalité (Cochet et Paris, 2001). Pour les phosphates, la concentration à ne pas dépasser est de 0,03 mg/L. Le pH doit rester inférieur à 7,5, mais en dessous de 6, la trop forte acidité devient fatale. La figure ci-dessous synthétise les caractéristiques physico-chimiques des cours d'eau à Moule perlière.

	[O ₂] dissous (mg O ₂ /L; % satur)	pH	Conductivité (µS/cm)	Nitrates (mg NO ₃ ⁻ /L)	Orthophosphates (mg PO ₄ ³⁻ /L)	Ammoniums (mg NH ₄ ⁺ /L)	DBO5 (mg O ₂ /L)	Calcium (mg Ca/L)
Vrignaud, 2005	.	6-7	<100-150	<1	<<3	.	.	.
Cochet et Paris, 2001	>4,5	6-7	.	<7	<0,1	.	<3	<10
Oliver, 2000	90-110%	6,5-7,2	<100	<1	<0,03	.	<1,3	<10
This study (reproducing populations) (Ireland)	>9	6,5-8,3	<195	<1,7	<0,12	<0,1	<3,0	.
Buddensiek, 1995 (Germany)	mean 9,76	mean 7,05	mean 208	mean 0,01	mean 0,11	mean 0,22	.	.
Ofenb-ck et al (in press) (Austria)	98-131%	6,8-7,5	91-110	<1,4	<0,014	<0,01	.	.

Synthèse bibliographique des caractéristiques physico-chimiques des eaux hébergeant des populations de Moules perlières (Moorkens, 2000)

B. Annexe n° 2 - responsabilité régionale vis-à-vis de la Moule perlière

Le contrefort ouest du Massif central (Corrèze, Creuse, Haute-Vienne, Dordogne, Charente...) est un massif granitique ancien. Il est caractérisé par la présence de très nombreuses sources, et d'un réseau hydrographique oligotrophe très dense (1,95 km de cours d'eau au km² sur la Montagne Limousine, contre 0,87 sur Loire Bretagne et 1,03 sur Adour Garonne), donnant naissance à des rivières du bassin Adour-Garonne (Chavanon, Vézère, Luzège... affluents de la Dordogne) et du bassin Loire-Bretagne (Thaurion, Maulde, Combade... qui se jettent dans la Vienne).

Cette région est très favorable à une espèce comme la Moule perlière (*Margaritifera margaritifera*).

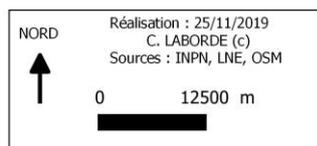
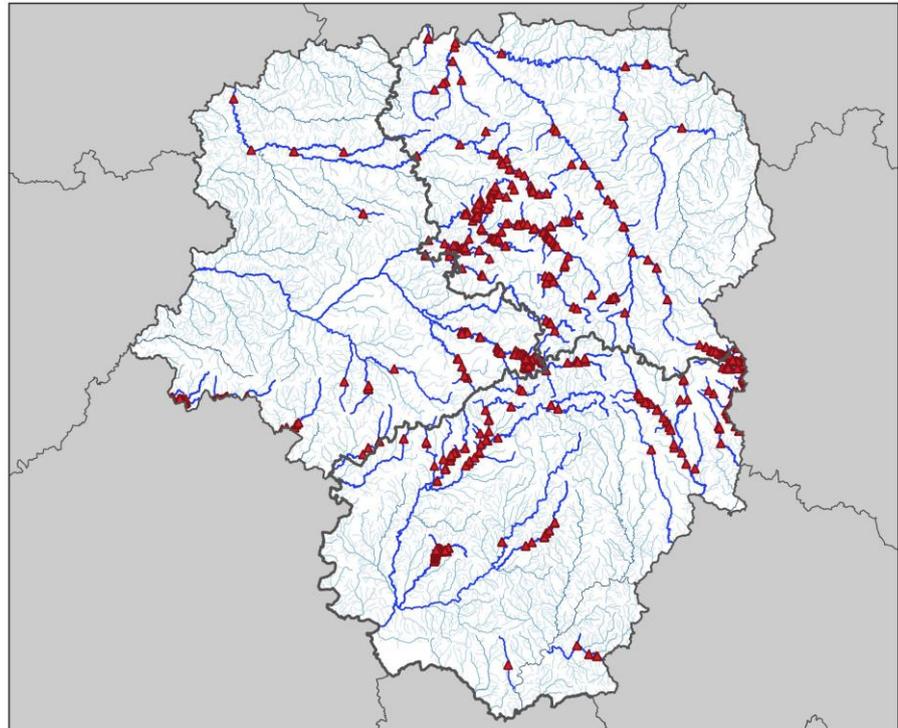
Après plusieurs années de prospections régulières entre 2008 et 2020, on estime aujourd'hui qu'il y a au moins 40 000 Moules perlières en Limousin-Dordogne. Les experts du Groupe Mulette limousin considèrent 7 cours d'eau (sur les plus de 80 cours d'eau de la région qui abritent l'espèce) comme prioritaires :

- 3 cours d'eau présentent des populations viables et des effectifs conséquents il s'agit de la Vienne (10 000 individus minimum et présence de juvéniles), la Dronne (20 000 individus au minimum et présence de juvéniles) et le Grandrieux (3000 ind + juv). La Vienne et la Dronne présentent des caractéristiques hydro morphologiques encore très favorables à l'espèce, et du recrutement y est observé tous les ans.
- La Méouzette, avec 4000 individus, est également considérée comme prioritaire de part ces effectifs importants.
- 3 autres cours d'eau sont prioritaires car présentant des preuves de recrutement récent, il s'agit du Bandiat (1000 ind + juv), de la Béraude (250 ind + juv) et du Ruisseau de Feyt (400 ind + juv).

Ce territoire présente au moins 85 rivières occupées par l'espèce, mais cette dernière est largement méconnue, car sous prospectée : à l'échelle des communes, le linéaire prospecté ne représente jamais plus de 1% du linéaire favorable à l'espèce (Onema, 2009) et est probablement encore bien présente sur bon nombre de cours d'eau.



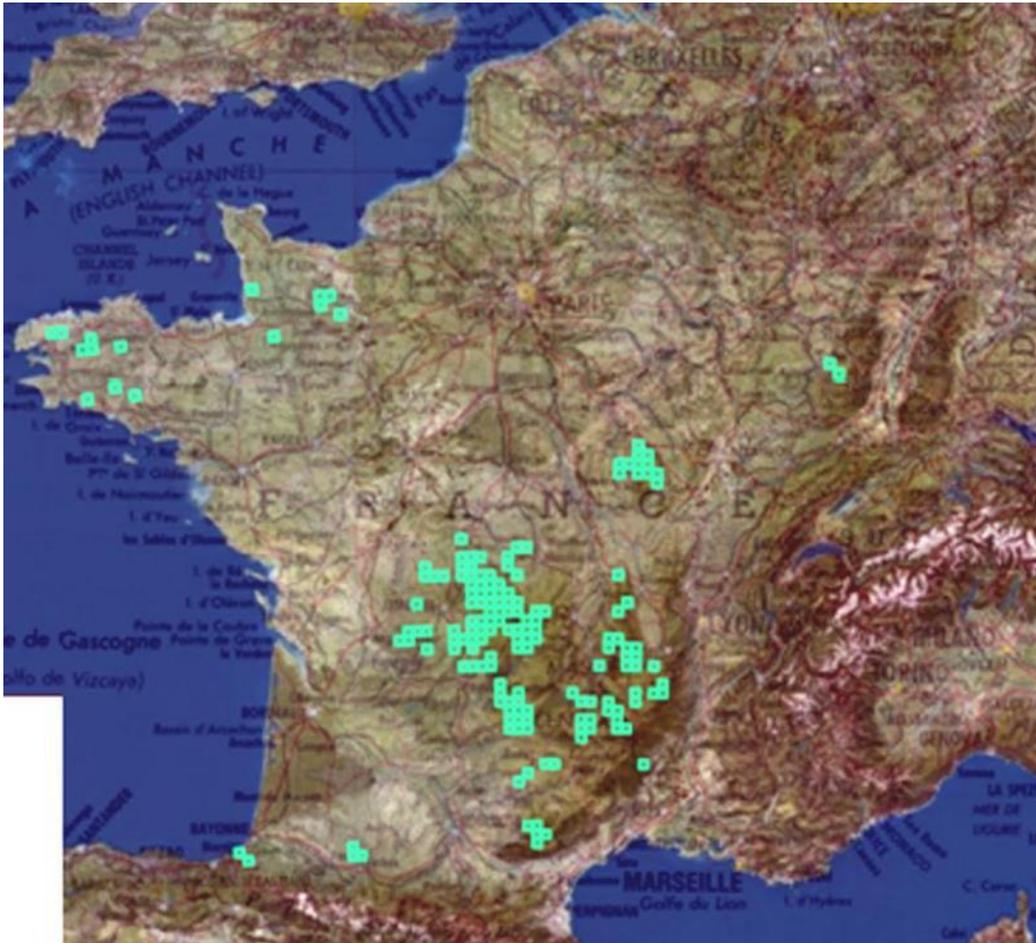
Suivis scientifiques des sites natura 2000
Synthèse de l'état des connaissances concernant
Margaritifera margaritifera en Corrèze, Creuse et Haute-Vienne



Répartition limousine de la Moule perlière (Laborde et Al, 2019)

Dans les Pyrénées Atlantiques, une population est également connue sur la Nivelle qui fait l'objet d'une mobilisation locale et d'études en cours en partenariat avec LNE.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Suivi de la population de Moule perlière du Grand Rieux par modèle mixte d'abondances – Etat initial 2020



Données disponibles sur la Moule perlière sur l'INPN (Sources : MNHN, 2019)



Répartition nationale des populations de Moules perlière en France (Sources : Cochet, 2004, MAJ CEN A-2019)

C. Annexe n° 3 – problématique de détection des bivalves en rivières

➤ Déteçtabilité de l'espèce sur les cours d'eau

La Moule perlière est une espèce très difficilement déteçtable (conditions de prospeçtion difficiles, largeur du cours d'eau, biais observateur, enfouissement partiel à total...), et il paraît inévitable de rater des individus, ce qui représente une problématique majeure pour assurer un dénombrement.

L'expérience montre que même des observateurs avertis ratent une (grande) partie des individus visibles lors des comptages, et ce pour diverses raisons : luminosité, profondeur, turbidité, difficulté à se repérer sur le cours d'eau...

Les premiers travaux réalisés en France (Laborde & Al. 2019, Cucherat, 2014, Millière et Pasco, 2015) indiquent des taux de déteçtion de la Moule perlière sont compris entre 0 et 90 %, le plus souvent entre 0,2 et 0,4.

Avant toute étude basée sur des prospeçtions au bathyscope, il est primordial de s'interroger sur ces taux de déteçtions, et le cas échéant, de chercher à les déterminer par une méthode reproductible.

➤ Enfouissement et déplacement de l'espèce

Les Moules perlières comme les Mulettes épaisses ont la capacité de s'enfouir dans le substrat, mais aussi de se déplacer sur de courtes distances. Ils peuvent également être entraînés dans le courant, et se réinstaller sur des plats lenticulaires par exemple ou encore juste à l'amont de seuils.

Concernant l'enfouissement ; des expériences de Capture Marquage Recapture (Beaufils, 2012) ainsi que des manipulations d'excavation (Cucherat, 2014) ont montré que 30 à 60% des individus adultes étaient enfouis dans le substrat.

Ces phénomènes sont non négligeables et doivent être pris en compte dans le suivi des populations et l'estimation de leurs effectifs.

D. Annexe n° 4 - fiches terrain pour le relevé des co-variables environnementales

Données générales		
Observateur : _____	Date : ___/___/_____	Protocole : _____
Condition : <input type="checkbox"/> Basses eaux	<input type="checkbox"/> Moyennes eaux	<input type="checkbox"/> Hautes eaux
Nébulosité (de 0 à 8) : <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> 8	0 : ouvert (0% nébulosité) ; 8 : 100% de couverture	
Code tronçon : _____	Nom cours d'eau : _____	
Commune : _____	Pt GPS aval (photo) : _____	Pt GPS amont (photo) : _____
	Heure début : _____	Heure fin : _____

Hydrologie
Largeur moyenne : _____
Facès d'écoulement : <input type="checkbox"/> Retenue <input type="checkbox"/> Mouille <input type="checkbox"/> Plat lentique <input type="checkbox"/> Plat courant <input type="checkbox"/> Radier <input type="checkbox"/> Rapide <input type="checkbox"/> Chute <input type="checkbox"/> Radier-plat <input type="checkbox"/> Radier-mouille <input type="checkbox"/> Rapide-plat <input type="checkbox"/> Rapide-mouille
Hauteur d'eau moyenne : _____

Berges
Végétation rivulaire : <input type="checkbox"/> Herbacée <input type="checkbox"/> Arbustive <input type="checkbox"/> Arborée feuillue <input type="checkbox"/> Arborée résineux <small>(Dominante)</small>
Ombrage : <input type="checkbox"/> Nul (0%) <input type="checkbox"/> Faible (<25%) <input type="checkbox"/> Moyen (25-50%) <input type="checkbox"/> Fort (>50%)
Hauteur moyenne de berge : _____
Pente des berges : <input type="checkbox"/> Surplomb <input type="checkbox"/> Verticale <input type="checkbox"/> Inclinée (~45°) <input type="checkbox"/> « Lisse »
Nature des berges : <input type="checkbox"/> Roche mère <input type="checkbox"/> Bloc <input type="checkbox"/> Pierre/galet <input type="checkbox"/> Gravier <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Tourbe <input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Béton <input type="checkbox"/> Enrochement <input type="checkbox"/> Palleplanche <input type="checkbox"/> Remblais <input type="checkbox"/> Autre :
Stabilité des berges : <input type="checkbox"/> Nulle <input type="checkbox"/> Faible <input type="checkbox"/> Moyenne <input type="checkbox"/> Forte

Lit
Substrat dom 1 : <input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Gravier (0,2-2) <input type="checkbox"/> Caillou (2-6) <input type="checkbox"/> Pierre (6-25) <input type="checkbox"/> Blocs (>25) <input type="checkbox"/> Dalle
Substrat dom 2 : <input type="checkbox"/> Limon <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Gravier (0,2-2) <input type="checkbox"/> Caillou (2-6) <input type="checkbox"/> Pierre (6-25) <input type="checkbox"/> Blocs (>25) <input type="checkbox"/> Dalle
Recouvrement végétation aquatique : <input type="checkbox"/> Nul (0%) <input type="checkbox"/> Faible (<25%) <input type="checkbox"/> Moyen (25-50%) <input type="checkbox"/> Fort (>50%)
Colmatage : <input type="checkbox"/> Nul (0%) <input type="checkbox"/> Faible (<25%) <input type="checkbox"/> Moyen (25-50%) <input type="checkbox"/> Fort (>50%)
Classe colmatage : <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <small>(CEMAGREF - Archambaud et al., 2005)</small>
% recouvrement atterrissement : _____

Parcelles riveraines
RD : <input type="checkbox"/> Cultures <input type="checkbox"/> Prairie fertilisée <input type="checkbox"/> Prairie non fertilisée <input type="checkbox"/> Zone urbaine <input type="checkbox"/> Forêts feuillues <input type="checkbox"/> Forêts résineux
RG : <input type="checkbox"/> Cultures <input type="checkbox"/> Prairie fertilisée <input type="checkbox"/> Prairie non fertilisée <input type="checkbox"/> Zone urbaine <input type="checkbox"/> Forêts feuillues <input type="checkbox"/> Forêts résineux

Commentaires :

E. Annexe n° 5 – co-variables relevées en 2020 pour le suivi du Grand Rieux

Tronçon (unité)	profondeur moyenne (cm)	facès	Végétation rivulaire (herbacée, arbustive, arborée feuillue, arborée résineux)	Ombrage (Nul(0%), Faible(<25%), Moyen(25-50%), Fort(>50%))	Hauteur moyenne des berges (cm)	Pente des berges	Nature des berges	stabilité des berges	substrat dominant 1	substrat dominant 2	Recouvrement végétation aquatique (%) faible <25%; moyen 25-50%; fort >50%	Colmatage (Nul(0%), Faible (<25%), Moyen(25-50%), Fort(>50%))	Classe colmatage	% recouvrement atterrissement	RD	RG
1	20	plat courant	arborée feuillue	moyen	50	surplomb	tourbe	faible	sable	pierre	faible	faible	2	20	foret feuillue	foret feuillue
2	40	plat lentique	herbacée	nul	30	verticale	tourbe	nulle	sable	gravier	faible	moyen	3	0	prairie non fertilisée	prairie non fertilisée
3	50	plat lentique	herbacée	nul	50	inclinee	tourbe	faible	sable	gravier	moyen	faible	1	20	prairie non fertilisée	prairie non fertilisée
4	15	plat courant	arborée feuillue	moyen	40	inclinee	roche mere	moyenne	gravier	caillou	nul	nul	1	0	prairie non fertilisée	foret feuillue
5	15	radier	arborée feuillue	fort	30	inclinee	tourbe	moyenne	gravier	caillou	nul	faible	1	0	foret feuillue	foret feuillue
6	20	plat courant	arborée feuillue	moyen	20	lisse	roche mere	moyenne	sable	gravier	nul	faible	1	0	foret feuillue	foret feuillue
7	20	plat courant	arborée feuillue	moyen	30	inclinee	tourbe	faible	sable	caillou	nul	moyen	2	0	foret feuillue	foret feuillue
8	30	plat courant	herbacée	faible	40	surplomb	tourbe	faible	gravier	caillou	moyen	faible	1	30	prairie fertilisée	foret feuillue
9	30	plat courant	arborée feuillue	faible	30	inclinee	tourbe	forte	gravier	caillou	faible	nul	1	10	prairie fertilisée	prairie non fertilisée
10	15	plat lentique	arborée feuillue	moyen	50	surplomb	sable	faible	limon	sable	nul	moyen	3	0	foret feuillue	prairie fertilisée
11	40	plat lentique	herbacée	faible	50	verticale	gravier	faible	limon	sable	nul	fort	4	30	prairie non fertilisée	prairie non fertilisée
12	30	plat courant	arbustive	faible	50	surplomb	roche mere	moyenne	limon	sable	moyen	moyen	3	30	prairie non fertilisée	prairie fertilisée
13	40	plat lentique	herbacée	faible	80	surplomb	sable	faible	limon	sable	faible	faible	2	0	prairie non fertilisée	prairie non fertilisée
14	50	plat lentique	herbacée	faible	80	verticale	tourbe	faible	limon	sable	faible	fort	4	0	prairie non fertilisée	prairie non fertilisée
15	20	radier	arborée feuillue	moyen	20	lisse	tourbe	moyenne	sable	caillou	nul	faible	2	30	foret feuillue	foret feuillue
16	30	plat lentique	arborée feuillue	moyen	40	surplomb	sable	faible	sable	pierre	nul	faible	3	0	foret feuillue	foret feuillue
17	30	plat courant	herbacée	faible	100	verticale	gravier	moyenne	sable	gravier	moyen	faible	2	0	prairie fertilisée	prairie fertilisée
18	30	plat courant	arbustive	faible	30	surplomb	tourbe	faible	sable	limon	faible	moyen	2	0	foret feuillue	prairie non fertilisée

F. Annexe n° 6 - présentation des porteurs de projet

L'Europe et la France se sont engagées à assurer la préservation de la Moule perlière. Cette espèce protégée en France, et en danger critique d'extinction en Europe, vit dans les cours d'eau des massifs granitiques anciens.

Limousin Nature Environnement (LNE), est une association à but non lucratif, régie par la loi 1901. Administrée par des bénévoles, elle regroupe une cinquantaine d'associations Limousines (Haute-Vienne, Creuse, Corrèze) qui se retrouvent autour d'une même idée : l'Écologie. La Fédération rassemble près de 5000 personnes aussi bien des citoyens œuvrant pour l'intérêt général que des professionnels. Limousin Nature Environnement est affiliée à France Nature Environnement. LNE anime le Plan Régional d'Action en faveur de la moule perlière, depuis 2012. LNE est membre fondateur de France Nature Environnement Nouvelle-Aquitaine.



La **Société Limousine d'Etude des Mollusques (SLEM)**, est une association loi 1901 qui regroupe des amateurs qui souhaitent connaître et protéger les mollusques, en Limousin, mais aussi partout en France. Elle est issue d'un groupe informel (le groupe mulette) qui s'est formé dans le cadre du Plan Régional d'Action 2011-2016 en faveur de la moule perlière en Limousin, animé par Limousin Nature Environnement.

Nature Environnement Consultant (N.E.C.) est un bureau d'étude spécialisé dans l'expertise et l'éducation au patrimoine naturel. Cyril LABORDE, qui dirige N.E.C. est installé en Corrèze, dans le secteur d'Egletons, depuis 2008. Fort de près de 15 ans d'expériences professionnelles, il est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en Agro-écologie, et réalise son activité au sein de la coopérative d'entrepreneur(e)s : Oxalis Scop SA.



Il a travaillé 8 ans dans les PNR, et ce notamment en tant que chargé de mission Natura 2000 sur une rivière à Moule perlière – La haute vallée de la Vienne. Dans ce cadre, et au sein d'associations, dont la Société Limousine d'Etude des Mollusques, il a réalisé de nombreuses études, suivis et projets divers concernant l'espèce. Il a publié plusieurs articles sur l'espèce, et notamment sur le développement et la mise en œuvre de suivi de population.

Il s'est formé aux bio-statistiques auprès du CNRS (UMR 5175 – CEFE) en suivant les 4 modules de formations proposés, et se passionne pour le développement de méthodes de suivis de la faune. Il maîtrise également les Systèmes d'Information Géographique.



Aurélien BESNARD, biostatisticien spécialisé en biologie de la conservation travaille au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CNRS-EPHE, UMR 5175) qui regroupe plus de 250 chercheurs, spécialisés sur l'étude de la faune et de la flore, avec des méthodes à la pointe de la recherche, via le développement des bio-statistiques, et une volonté forte de lier recherche et expertise de terrain. Il suit les travaux menés par LNE, la SLEM et le PNR de Millevaches depuis 2011.



Cliché d'un juvénile de Moule perlière de 1.8 cm (Sources : C. LABORDE)