

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



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

Projet porté par :



LIMOUSIN NATURE
ENVIRONNEMENT

En partenariat avec :



Nature et
Environnement
Consultant



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



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 de la Vienne amont par modèle mixte d'abondances entre 2014 et 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 la Vienne 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 entre 2014 et 2020 sur la Vienne	15
Figure 5 : juvéniles de Moules perlières observées en 2020 sur la Vienne	16
Figure 6 : résultats bruts cartographiques du suivi par comptage répété sur la Vienne	17
Figure 7 : évolution de l'abondance et du taux de multiplication estimés entre 2014 et 2020 sur la Vienne	19

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 la Vienne	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 de la Vienne	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 de la Vienne amont par modèle mixte d'abondances entre 2014 et 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 de la Vienne amont de manière dynamique, soit entre 2014 et 2020.

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 journées-hommes (préparation suivi)
6 journées-hommes (terrain)
4 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 sur la Vienne (figure 2) repose sur 16 unités de 20 ML x 20 ML, placées tous les 200 ML le long du cours d'eau, sur un secteur de présence connue historiquement, qui avait fait l'objet du même suivi (état initial avec 51 unités diagnostiquées) en 2014. L'échantillon représente ainsi 10 % de la zone d'étude, ce qui est conforme aux recommandations (>10%).



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



LIMOUSIN NATURE
ENVIRONNEMENT

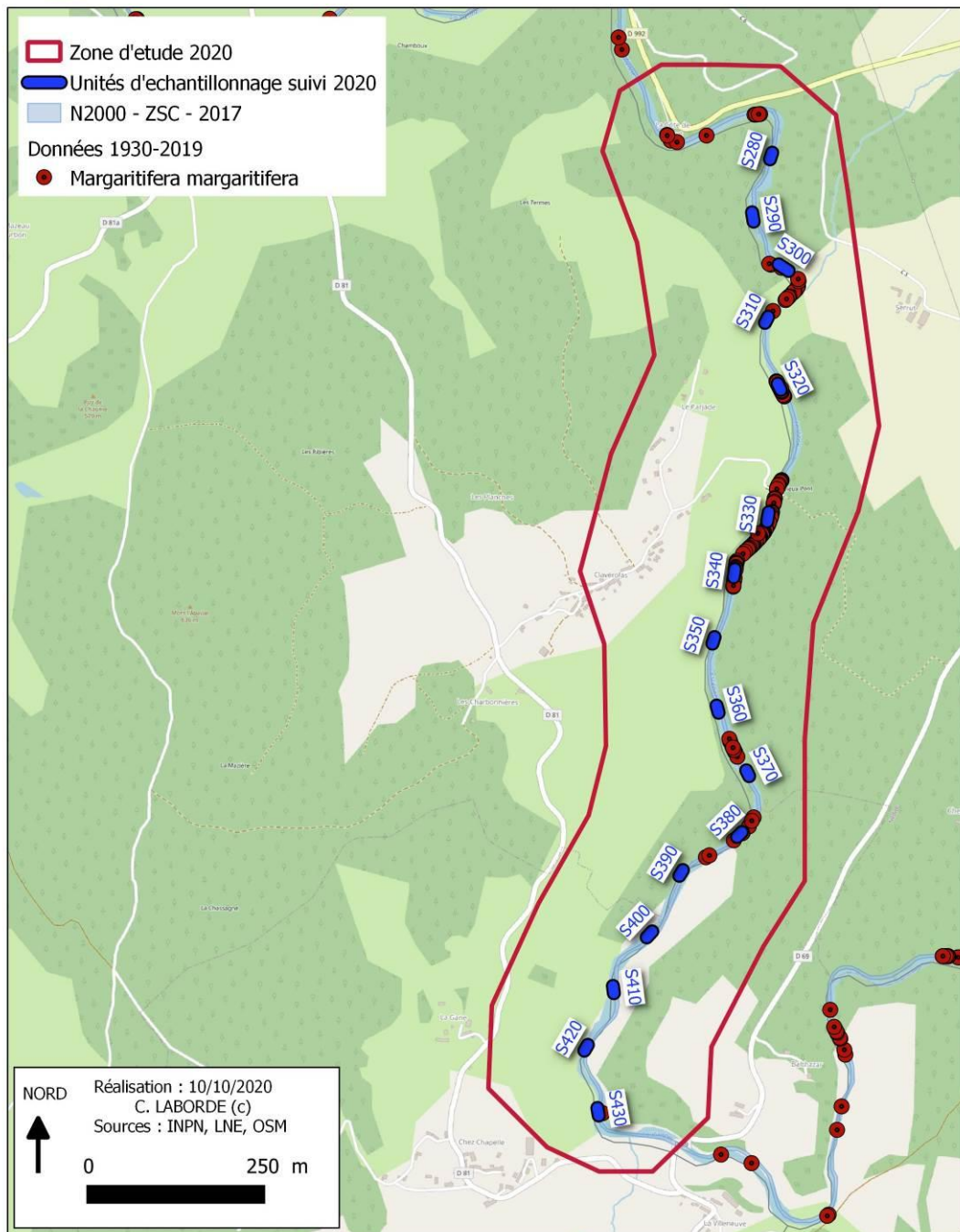


Figure 2 : cartographie de la stratégie d'échantillonnage mise en œuvre sur la Vienne pour le suivi de population par comptage répété

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 (3 passages sur la Vienne) 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 30 minutes / station sur la Vienne). 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
24-juin-20	9h30 à 17h	Temp. : 28°C Ensoleillement : 8/8 Vent : 0/8	Suivi de population Vienne	Cyril LABORDE, Solenne NOZAY, Brice LABORDE
03-juil-20	9h30 à 17h	Temp. : 25°C Ensoleillement : 8/8 Vent : 0/8	Suivi de population Vienne	Cyril LABORDE, Brice LABORDE et Pierrick RIVET

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

III. Résultats du suivi scientifique par comptage répété sur la Vienne

Site(s) Natura 2000 concerné(s) :
FR7401148 Haute vallée de la Vienne

A. Résultats bruts

L'étude 2020 a été réalisée en deux sessions de terrain, organisées le 24 juin puis le 3 juillet 2020, avec 3 observateurs lors de chaque session (merci au PNR de Millevaches en Limousin et à Brice LABORDE, qui ont soutenu notre projet).

L'ensemble des 16 unités d'échantillonnage de 400 m² prévues ont été prospectées à 3 reprises, sauf la station 290 qui n'a été prospectée que 2 fois (figure 4). Des co-variables environnementales ont également été relevées systématiquement (annexe 5).

troncon - unité	N - P1 2014	N - P2 2014	N - P3 2014	Abondance max. des 3 passages 2014	N - P1 2020	N - P2 2020	N - P3 2020	Abondance max. des 3 passages 2020	Evol. abondance brute 2014 - 2020 (en %)
280	18	16	11	18	13	11	8	13	-28%
290	64	51	43	64	15	9	NP	15	-77%
300	5	4	1	5	3	3	1	3	-40%
310	2	1	0	2	4	3	2	4	100%
320	16	9	5	16	9	7	2	9	-44%
330	NP	NP	NP	NP	2	1	1	2	/
340	7	4	2	7	2	2	2	2	-71%
350	5	4	1	5	4	3	2	4	-20%
360	3	1	0	3	5	4	2	5	67%
370	8	4	4	8	6	3	3	6	-25%
380	2	0	0	2	1	0	0	1	-50%
390	6	2	0	6	3	2	0	3	-50%
400	5	1	1	5	8	6	4	8	60%
410	6	2	1	6	4	3	2	4	-33%
420	2	0	0	2	1	0	0	1	-50%
430	3	1	0	3	2	1	0	2	-33%

Figure 4 : résultats bruts du suivi par comptage répété entre 2014 et 2020 sur la Vienne

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 en 2020, on obtient une abondance minimale de 82 moules perlières vivantes, sur les 320 mètres linéaires étudiés, soit 0,012 individu par mètre carré en moyenne.

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

Notons l'observation de 17 juvéniles (figure 5) au cours du suivi, ce qui est remarquable eu égard à notre faible capacité de détection de l'espèce, et notamment des plus petits individus.

Les abondances maximums observées en 2014 puis en 2020 semblent indiquer une régression de la population dans cet intervalle de temps assez court (6 ans).

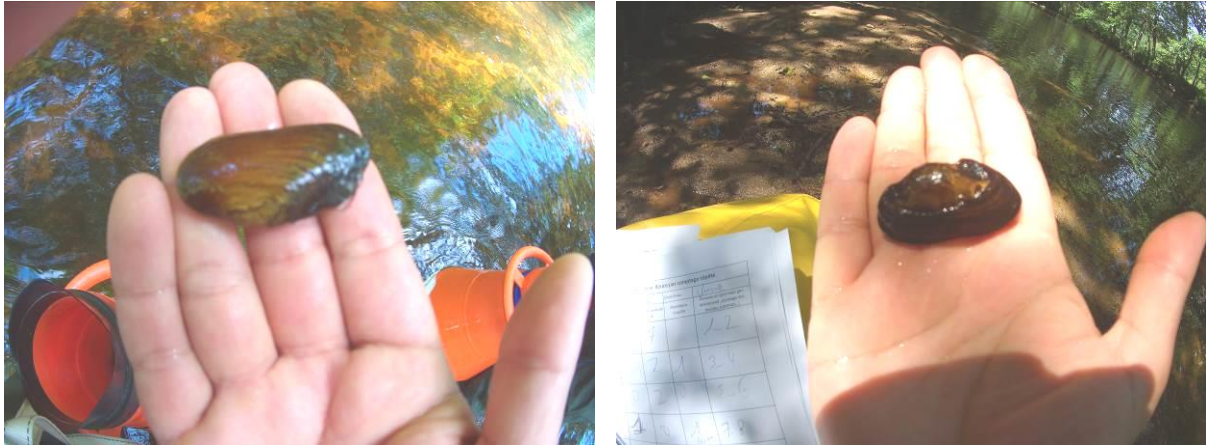


Figure 5 : juvéniles de Moules perlières observées en 2020 sur la Vienne

Notons enfin l'observation de 8 coquilles sur la Vienne lors du suivi 2020, soit 8,88% du total des observations 2020.



Amélioration des connaissances des bivalves de la DHFF Résultats bruts du suivi de population par comptage répété sur la Vienne

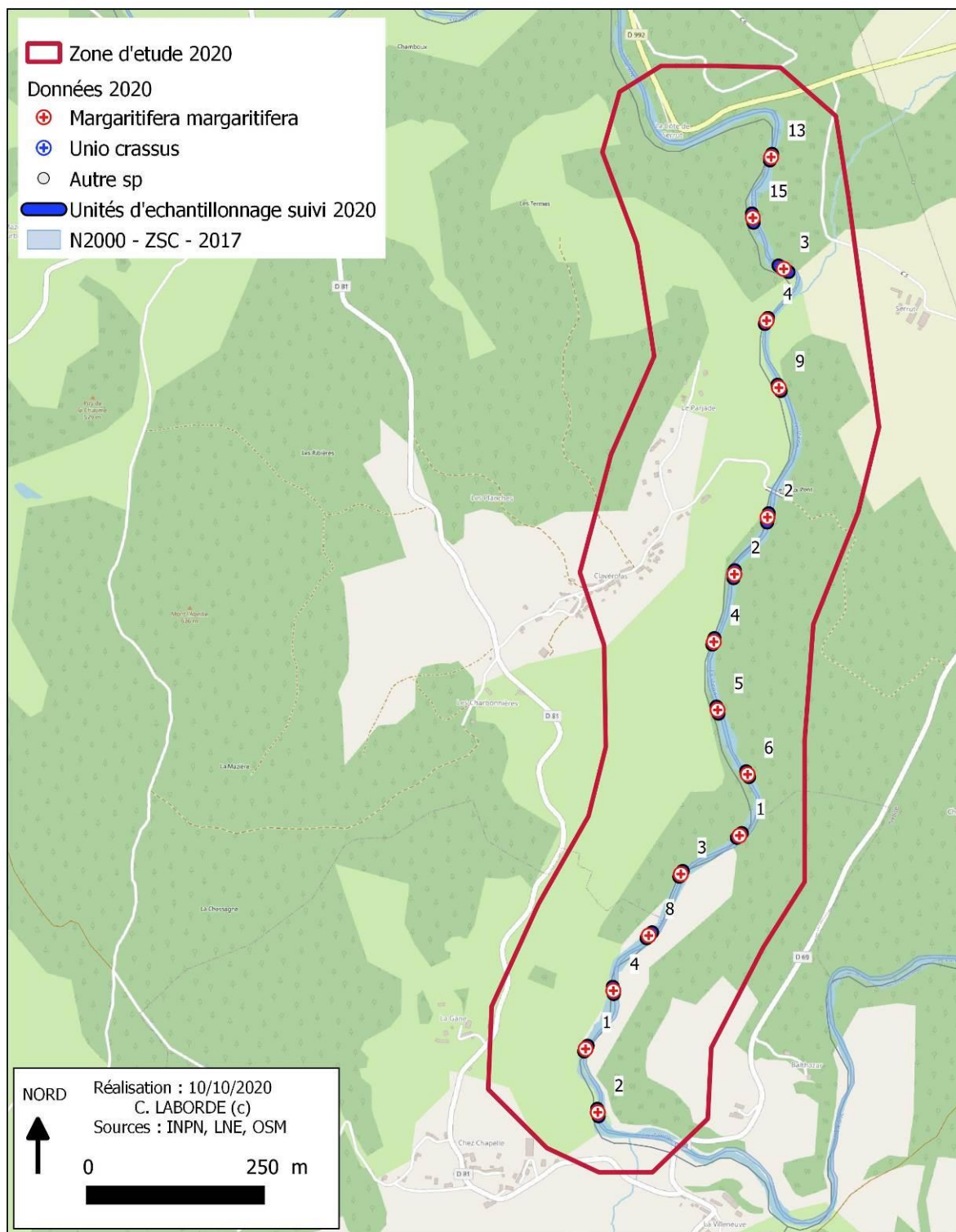


Figure 6 : résultats bruts cartographiques du suivi par comptage répété sur la Vienne

B. Modélisation et analyse des données

Le jeu de données de la Vienne (figure 6) correspond aux 16 tronçons prospectés en 2020, dont 15 avaient déjà été réalisés en 2014 avec un protocole identique. Il permet donc de modéliser une tendance de la population sur cet échantillon de 15 tronçons, qui ont été prospectés avec un protocole rigoureusement identique en 2014 puis en 2020.

1. Analyses N-mixture dynamique dans un cadre fréquentiste

La modélisation de ces tendances peut se réaliser avec des modèles dits de « N-mixture dynamic » en fréquentiste sous R.

Nous avons fait une analyse de ce type pour commencer. Malheureusement, comme cela avait été le cas sur l'ensemble des données (51 tronçons) de la Vienne de 2014, les modèles ne sont pas ajustés y compris avec une distribution Binomiale Négative des données.

L'examen des estimations de ce modèle confirme cependant la très nette baisse observée sur les données brutes avec un taux de multiplication (de la population étudiée) entre les deux passages de 0,62 [IC95% 0.51-0.77], soit une baisse de 38% [IC95% 23%-49%] des effectifs entre 2014 et 2020.

Du fait de la non-adéquation du modèle aux données, ce chiffre est à prendre avec précaution.

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

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 modèles de « N-mixture dynamic » n'étant pas disponibles dans le cadre bayésien, nous avons fait le choix d'estimer les abondances totales à l'échelle des 15 tronçons pour les deux années dans un seul et même modèle (en considérant que les deux années étaient deux types de sites différents).

Le taux de multiplication est alors estimé par le ratio des effectifs totaux estimés en 2020 sur ceux estimés en 2014.

L'analyse a donc été réalisée en bayésien avec un effet « année » comme co-variable. L'effet observateur a également été testé sur la probabilité de détection des individus. La convergence des modèles est satisfaisante, sans être parfaite.

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. Comme l'indiquait déjà le modèle en 2014 (taux d'occupation des sites estimés à 99,99%), 100 % des sites prospectés sont toujours occupés par l'espèce en 2020.

C. Modèle retenu et résultats

Sur la Vienne, le modèle retenu est donc un N-mixture en bayésien avec un effet « année » comme co-variable et en fixant l'intervalle de confiance à 80% (moins conservatif que 95%), mais qui permet de discuter plus aisément des estimations obtenues.

D'après ce modèle, la probabilité de détection moyenne n'est pas significativement impactée par le niveau d'expérience, contrairement au Grand Rieux. Elle est de l'ordre de 14% en 2020, ce qui apparaît très faible, tout comme lors de l'analyse des 51 tronçons en 2014 où elle avait été estimée à 16%, et à 11% pour les seuls 15 tronçons suivis en 2014 et en 2020.

L'abondance totale (figure 7) sur les 15 unités prospectées en 2014 est estimée à 865 individus avec un IC à 80% de [293-5110]. En 2020 l'abondance totale est estimée à 491 individus avec un IC également fixé à 80% de [170-2869].

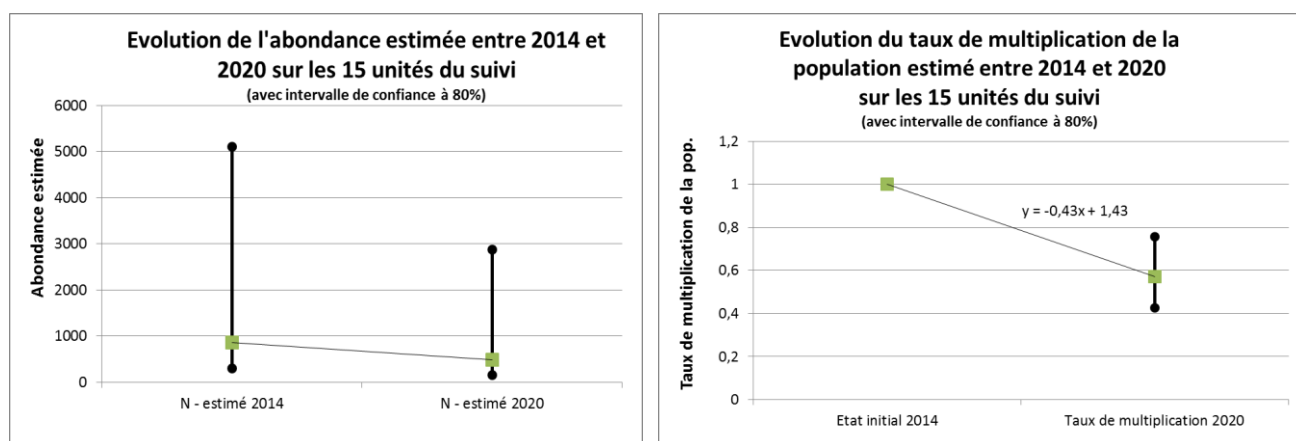


Figure 7 : évolution de l'abondance et du taux de multiplication estimés entre 2014 et 2020 sur la Vienne

Malgré le chevauchement partiel de ces intervalles de confiance (figure 7), le taux de multiplication démontre un net déclin avec une estimation de 0,57 (avec [0,48-0,68] pour un IC à 80% et [0,43-0,76] pour un IC à 95%), avec un taux d'occupation des sites de 100% en 2014 comme en 2020.

On notera que ces chiffres sont très proches de ceux estimés par le modèle en fréquentiste, malgré notre incapacité à valider statistiquement ce dernier.

Si ce déclin se poursuit, d'après la régression linéaire entre 2014 et 2020 (figure 7), on peut estimer que la population aura disparu d'ici 20 ans environ (17 à 25 ans avec un IC à 80%).

D. Synthèse et suite à donner

Le suivi scientifique mis en œuvre sur la Vienne en 2014, et répété en 2020 a permis de modéliser statistiquement la population étudiée par la méthode N-mixture dans le cadre bayésien.

Cette méthode, bien que complexe, permet d'affirmer que la population de Moule perlière située entre « la côte de Serrut » (commune de Nedde) et le « Pont de la Villeneuve » (commune de Rempnat) a subi au cours de ces 6 dernières années **une régression estimée** :

- comprise entre 24 et 57 % (avec un intervalle de confiance à 95%),
- comprise entre 32 et 52 % (avec un intervalle de confiance à 80%).
- Si ce déclin se poursuit ainsi, il y a 80% de probabilité que la population disparaisse entre 2037 et 2045, et 95% de probabilité qu'elle ait disparu d'ici 2051.

Si tous les sites étudiés sont toujours occupés par l'espèce en 2020 (tout comme en 2014), c'est bien la population dans son ensemble qui décline assez rapidement.

Notons également, comme observé dans le cadre des estimations de la détectabilité par CMR (Laborde et Al., 2020), que dénombrier cette espèce sur un cours d'eau large comme la Vienne est particulièrement difficile, avec un taux de détection estimé à 14% (avec 3 passages), contre 91% (avec 5 passages) sur le Grand Rieux (< 5 mètres de large).

Cela confirme l'intérêt des comptages répétés et de la modélisation, notamment sur ce type de cours d'eau, les inventaires classiques étant particulièrement aléatoires sur les cours d'eau larges.

Les résultats de ce suivi de population confirment également les résultats des contrôles de stations effectués en 2020 plus à l'amont sur ce site Natura 2000 (Laborde et Al., 2020), qui laissaient présager d'une régression inquiétante sur ce site considéré comme hotspot pour l'espèce.

Nous préconisons que ce suivi soit répété à l'identique (protocole, stations de suivi, matériel) si possible des 2021 sur l'ensemble des 51 stations de 2014, et à défaut, d'ici 6 ans (soit en 2026), sur les 16 stations de 2020.

IV. Conclusion et perspectives

Cette étude confirme **l'urgence à agir** en faveur de la Moule perlière, espèce d'intérêt communautaire au titre de la Directive Habitat Faune Flore, et ce, au regard de l'effondrement de certaines populations sur un pas de temps relativement court eu égard à leur longévité notamment.

Rappelons ici l'un des résultats du suivi réalisé sur **la Vienne entre 2014 et 2020**, indiquant que si ce déclin se poursuit ainsi, il y a **95% de probabilité que la population de Mulettes disparaisse d'ici 2051 ans**.

Si tous les sites étudiés sont toujours occupés par l'espèce en 2020 (tout comme en 2014), c'est bien la population dans son ensemble qui décline, et ce, assez rapidement. Ce résultat illustre vraisemblablement une problématique de qualité des milieux aquatiques sur l'ensemble du bassin-versant, et donc, un besoin d'amélioration pour maintenir cette espèce.

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.

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.

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.

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.

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 de la Vienne amont par modèle mixte d'abondances entre 2014 et 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.

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

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 apparaît 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 apparaît 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*).

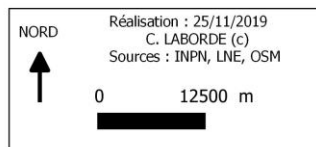
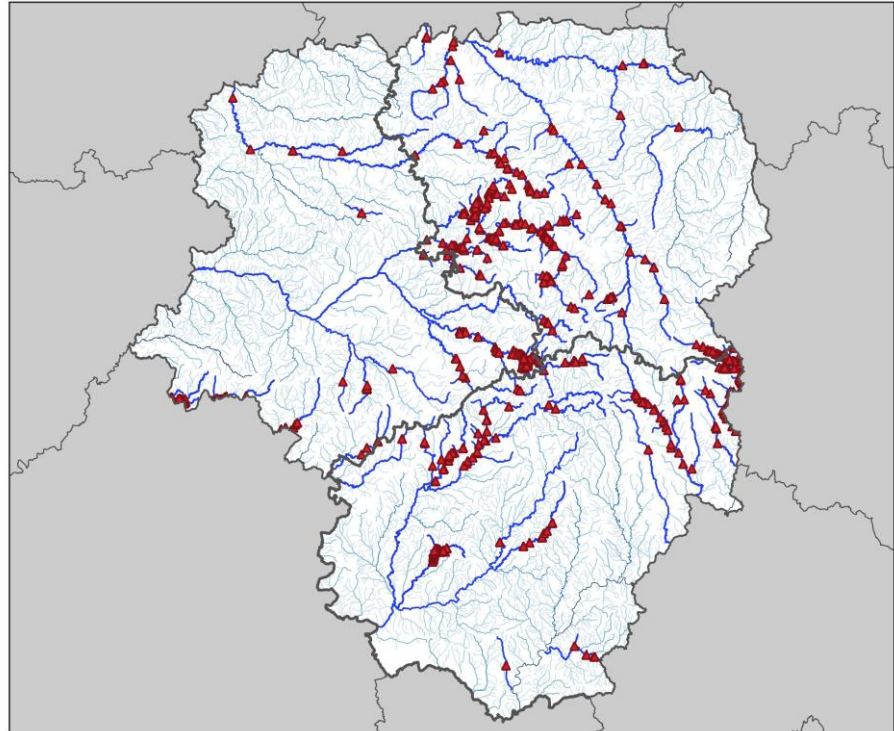
Après plusieurs années de prospections régulières entre 2008 et 2020, on estime aujourd'hui qu'il y a au moins 40 000 Moules perlières en Limousin-Dordogne. Les experts du Groupe Mulette limousin considèrent 7 cours d'eau (sur les plus de 80 cours d'eau de la région qui abritent l'espèce) comme prioritaires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

- 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.



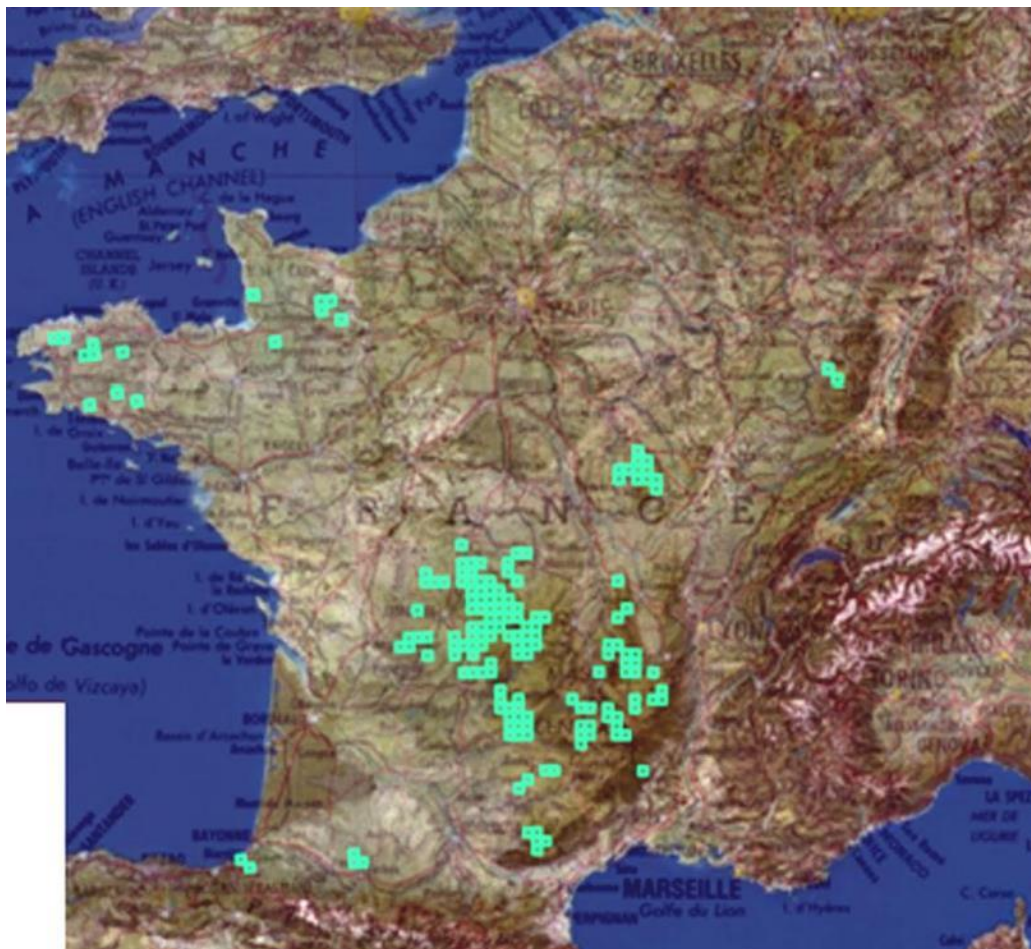
Suivis scientifiques des sites natura 2000
Synthèse de l'état des connaissances concernant
Margaritifera margaritifera en Corrèze, Creuse et Haute-Vienne



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 de la Vienne amont par modèle mixte d'abondances entre 2014 et 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 de la Vienne

tronçon - unité	largeur moyenne du tronçon (m)	profondeur moyenne (cm)	faciès	Végétation rivulaire (herbacée, arbustive, arborée feuillue, arborée résineux)	Ombrage (Nul(0%), Faible(<25%), Moyen(25-50%), Fort(>50%))	Hauteur moyenne des berges (m)	Pente des berges	Nature des berges	stabilité des berges	substrat dominant 1	substrat dominant 2	Recouvrement végétation aquatique (%) faible <25%;	Colmatage (Nul(0%), Faible (<25%), Moyen(25-50%), Fort(>50%))	Classe colmatage	% recouvrement atterrissement	RD	RG	Strate Arbo rivulaire (arbres +8m)	Arbustive rivulaire (arbustes 1-8m)	Buisson rivulaire (buissons 1-3m)	Herbacée rivulaire (0-1m)	zone du lit piétinée par le bétail (présence-absence)
280	16	50	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue, Arborée	Moyen	1	Inclinée	Bloc, herbacée	Moyenne	sable	Pierre	Moyen	Faible	1	0	Forêt feuillues et résineux	Forêt feuillues	4	2	0	3	non
290	15	60	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1	Surplomb, verticale	Bloc, Tourbe, Limon, herbacée	Moyenne	sable	Pierre	Faible	Moyen	3	0	Forêt feuillues	Forêt feuillues	3	3	0	3	non
300	10	80	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	0,5	Inclinée	Bloc, sable, Limon, herbacée	Moyenne	Bloc	Gravier	Faible	Moyen	4	10%	Prairie	Forêt feuillues	0	2	0	2	non
310	10	80	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	2	Surplomb, verticale	Roche mère, herbacée	Moyenne	sable	Caillou	Nul	Fort	4	0	Prairie	Prairie	2	1	0	3	non
320	15	60	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Faible	1	Surplomb, verticale	Bloc, herbacée	Moyenne	sable	Caillou	Faible	Moyen	4	0	Prairie	Prairie	3	4	0	3	non
330	18	50	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	0,8	verticale	Bloc, herbacée	Forte	sable	Pierre	Faible	Faible	1	0	Forêt feuillues	Forêt feuillues	4	1	0	1	non
340	12	80	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Nul	1,5	verticale	Bloc, Tourbe, herbacée	Moyenne	sable	Pierre	Faible	Fort	4	0	Forêt feuillues	Prairie	4	3	0	4	non
350	10	50	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1,8	verticale	Bloc, herbacée	Forte	sable	Pierre	Moyen	Moyen	3	0	Forêt feuillues	Prairie	3	2	0	4	non
360	18	80	Plat lentique	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1	verticale	Bloc, Tourbe, herbacée	Moyenne	sable	Gravier	Nul	Fort	5	0	Forêt feuillues	Prairie	3	2	0	3	non
370	10	30	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Fort	2	verticale	Bloc, Tourbe, herbacée	Moyenne	sable	Caillou	Faible	Faible	1	0	Prairie	Forêt feuillues	3	3	0	4	non
380	18	60	Plat courant; mouille	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1	verticale, inclinée	Pierre/galet, tourbe, herbacée	Moyenne	sable	Pierre	Fort	Fort	4	0	Forêt feuillues	Forêt feuillues et résineux	4	3	0	4	non
390	20	40	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1	verticale	arborée/ herbacée, herbacée	Forte	Pierre	Caillou	Faible	Nul		0	Prairie	Prairie	2				non
400	10	60	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Moyen	1	verticale, inclinée	Pierre/galet, sable, tourbe, limon	Moyenne	sable	Caillou	Faible	Faible	2	0	Cultures	Forêt feuillues	3	2	1	4	non
410	20	30	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Faible	1	verticale	arborée/ herbacée	Forte	caillou	Pierre	Moyen	Nul		0	Forêt résineux	Cultures	2				non
420	12	60	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Faible	1	Surplomb	Pierre/galet, tourbe	Moyenne	sable	Pierre	Faible	Moyen	3	0	Cultures	Prairie	4	2	1	4	non
430	15	30	Plat courant	Herbacée; Arbustive; Arborée feuillue	Faible	1	verticale	Enrochement	Forte	Bloc	Pierre	Moyen	Nul		0	Prairie	Cultures	1				non

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)