

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.



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

## **Etude des taux de détection de la Moule perlière par Capture Marquage Recapture virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin**



Rapport final – 12 novembre 2020

Projet porté par :



En partenariat avec :



**Nature et  
Environnement  
Consultant**



Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.



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

## Etude des taux de détection de la Moule perlière par Capture Marquage Recapture virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin

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. Etude des taux de détection de la Moule perlière par Capture Marquage Recapture virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin. Commanditaire : DREAL Nouvelle-Aquitaine. 36 p.

Projet porté par :

En partenariat avec :



Nature et  
Environnement  
Consultant



## Tables des illustrations

Figure 1 : rappel du programme d'actions 2020 .....	8
Figure 2 : exemple d'histoire de capture sur un tronçon fictif prospecté par 2 observateurs indépendants dans le cadre d'une CMR .....	11
Figure 3 : détectabilité individuelle estimée par CMR virtuelle sur la Vienne et la Dronne (à gauche) et sur la Méouzette (à droite).....	14
Figure 4 : détectabilité par tronçon estimée par CMR virtuelle sur la Vienne et la Dronne (à gauche) et sur la Méouzette (à droite).....	15
Figure 5 : évolution des taux de détection en fonction de l'effort de prospection .....	16
Figure 6 : synthèse des taux de détection moyen en fonction du type de cours d'eau .....	17
Figure 7 : abondances observées et abondances estimées sur l'ensemble des sites d'étude .....	18

## 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 d'évaluation des taux de détection par CMR virtuelle	9
A. Principes, hypothèses et moyens nécessaires	9
B. Définition du plan d'échantillonnage	10
C. Modalité de mise en œuvre sur le terrain	11
D. Analyse des résultats d'une CMR « virtuelle »	12
E. Intérêt et limites de la CMR « virtuelle »	12
III. Evaluation des taux de détection sur 3 cours d'eau par CMR virtuelle	14
A. Taux de détection individuels	14
B. Taux de détection et unité d'échantillonnage	15
C. Taux de détection et effort de prospection	16
D. Taux de détection et largeur du cours d'eau	17
E. Evaluation de la viabilité de la CMR pour le suivi de population	18
IV. Conclusion et perspectives	19
V. Bibliographie	20
VI. Annexes	24
A. Annexe n° 1 - présentation de la Mulette perlière - <i>Margaritifera margaritifera</i>	24
B. Annexe n° 2 - responsabilité régionale vis-à-vis de la Moule perlière	29
C. Annexe n° 3 – problématique de détection des bivalves en rivières	32
D. Annexe n° 4 - fiches terrain pour le relevé des co-variables environnementales	33
E. Annexe n° 5 - présentation des porteurs de projet	34

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

# 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 l'étude des taux de détection de la Moule perlière par Capture Marquage Recapture virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.



## II. Protocole d'évaluation des taux de détection par CMR virtuelle

---

### A. Principes, hypothèses et moyens nécessaires

L'objectif est ici de déterminer la détectabilité individuelle (d'un observateur), et moyenne (plusieurs observateurs, plusieurs zones d'étude) de l'espèce cible, et ce dans des conditions fixées, afin de mieux appréhender et interpréter les résultats de prospections au bathyscope.

La détectabilité prend une valeur comprise entre 0 et 1 (il s'agit d'une probabilité), et représente le nombre d'individus vus, sur le nombre total d'individus potentiellement visibles (elle ne prend donc pas en compte les individus totalement enfouis).

Pour calculer ce taux de détection, nous devons estimer la taille de la population sur chaque zone d'étude. Nous utiliserons pour cela la méthode de Capture Marquage Recapture (avec un marquage virtuel, via des feuilles terrain) avec au minimum deux observateurs indépendants.

#### **Capture-marquage-recapture (Otis et al., 1978)**

##### ***Principe***

Cette méthode repose sur un principe de dilution. On marque des individus qui sont relâchés dans la population et plusieurs visites sont réalisées sur le même site par la suite. Les « histoires de capture individuelles » (séries de 1 et de 0 selon que l'individu a été vu ou non à chacune des visites) permettent alors d'estimer l'abondance, et la probabilité de détection individuelle.

##### ***Hypothèses et règles d'utilisation***

- La population est considérée comme fermée (pas de natalité, de mortalité, d'immigration ou d'émigration) durant la période d'étude (H1),
- Les individus ont les mêmes chances d'être vus au cours des diverses visites et aucun individu n'a une probabilité de détection égale à 0 (H2),
- Les marques individuelles ne sont pas perdues et sont correctement identifiées par l'observateur (H3).

**Moyens humains et matériels :** temps imparti : 16 demi-journées-hommes (terrain)  
10 observateurs mobilisés  
1 bathyscope non éclairé, waders  
Bombe de peinture forestière, rubalise  
Feuilles A3 et stylos de couleurs  
Décamètre ruban, topofil  
1 minuteur

**Pré-requis nécessaire :** identifier des secteurs de présence avérée de l'espèce cible

## B. Définition du plan d'échantillonnage

En 2020, nous n'avons pas réalisé de session de CMR virtuelle. Cependant, il nous paraît utile de valoriser les données issues de la mise en œuvre de ce protocole lors de 22 sessions réalisées sur la Vienne, la Dronne et la Méouzette en 2014.

Au sein de chaque zone d'étude (Vienne, Dronne et Méouzette), nous avons défini des sous-unités d'échantillonnage relativement proches dans l'espace (afin de réaliser la manipulation en ½ journée) dans des contextes variés et choisis (hydromorphologie, conditions d'ombrage, de profondeur, etc...) pour être « représentatifs » des principaux milieux présents.

Elles ont été définies de manière à ce qu'elles aient toutes la même surface. Un ratio temps / surface prospectée de 7 minutes et 30 secondes pour 100 m<sup>2</sup> a été mobilisé sur la Vienne et la Dronne, alors que cet effort de prospection a été doublé sur la Méouzette.

### 1. Plan d'échantillonnage sur la Vienne

Six sessions de CMR ont été menées sur la Vienne, à proximité des lieux dits Clavérolas et Serrut (commune de Nedde, 87). L'étude des stations V1 et V2 a été réalisée par 3 observateurs, sur 2 tronçons de prospection de 400 m<sup>2</sup> (20x20 mètres), pendant une durée de 30 minutes chacun.

L'étude des stations V3 à V6 a été réalisée par 4 observateurs, sur 3 tronçons de 400 m<sup>2</sup> (20x20 mètres) et 1 tronçon de 470 m<sup>2</sup> (V4 : 20x23 mètres), pendant une durée de 30 minutes pour les 3 premiers et de 35 minutes pour le dernier.

### 2. Plan d'échantillonnage sur la Dronne

Quatre sessions de CMR ont été menées sur la Dronne (Saint-Saud-Lacoussière en Dordogne).

Cette étude a été réalisée par 6 observateurs, sur 4 tronçons de prospection de 15 à 18 mètres de long par 6 à 8 mètres de large, pendant une durée de 10 minutes chacun (chaque tronçon faisait une surface de 135 m<sup>2</sup> environ).

Le ratio temps / surface prospectée a été respecté pour rendre comparable les résultats de la CMR sur la Dronne avec ceux de la CMR sur la Vienne.

Les tronçons D1 et D3 ont été parcourus par 5 observateurs, et les tronçons D2 et D4 par les 6 observateurs présents.

### 3. Plan d'échantillonnage sur la Méouzette

12 sessions de CMR ont été menées sur la Méouzette, aux ponts de Malcornet et de Gane Courtioux. Cette étude a été réalisée par 6 observateurs, sur 12 tronçons de prospection de 50 m<sup>2</sup> (2 m x 25m), pendant une durée de 7,5 minutes chacun. Les tronçons de cours d'eau ont été découpés dans la longueur en 2 couloirs (rives gauche et droite). Chaque rive est donc une unité d'échantillonnage, notée M1 à M6, complété par la rive concernée (RD / RG).

## C. Modalité de mise en œuvre sur le terrain

En groupe, après avoir délimité les sous-unités avec des piquets mobiles ou de la bombe de peinture forestière, nous avons établi ensemble un schéma précis sur une feuille A3 (hypothèse H3) de la sous-unité depuis la berge, en pointant notamment des éléments remarquables du site : souches, embâcles, arbres remarquables, rochers, herbiers, ....

Ce schéma est ensuite confié à un observateur unique (A), dont le rôle sera de noter tour à tour la localisation géographique de chaque moule détectée, en utilisant une couleur ou un symbole différent pour chaque observateur (Hypothèse H3).

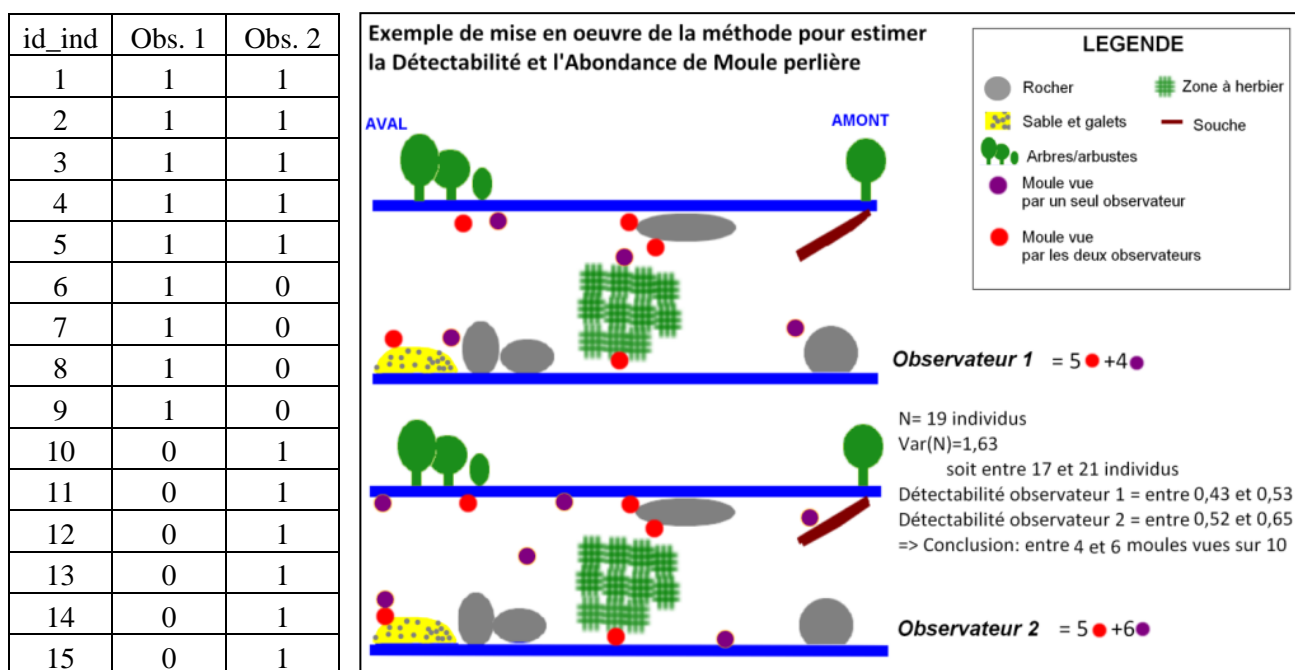
Tandis que les autres observateurs (C, D ...) s'éloignent du site afin de rester indépendants les uns des autres (ne pas connaître les observations des autres est crucial), l'observateur B commence à prospecter la station au bathyscope de l'aval vers l'amont et dans le temps imparti (travailler avec un minuteur est préconisé et permet de limiter les biais), accompagné uniquement par la personne prenant les notes depuis la berge (A).

Les différents passages se font consécutivement pour limiter le risque d'enfouissement des individus au cours de l'expérience (respect des hypothèses H1 et H2). Pour réaliser 3 passages sur 400 m<sup>2</sup> par exemple, il faudra donc 1h30 et l'on considèrera que les moules perlières n'ont pas le temps de s'enfouir ou de sortir du substrat dans ce laps de temps.

Ensuite sur le schéma, le groupe identifie :

- Les individus observés par un unique observateur,
- Les individus observés 2 fois, 3 fois ... et par qui, en les regroupant au sein d'un cercle par exemple.

Pour chaque individu observé au moins une fois, on obtient ainsi une histoire de capture (figure 2) au fil des différents passages (observateurs), composée de 0 (pas vu) et de 1 (vu).



**Figure 2 : exemple d'histoire de capture sur un tronçon fictif prospecté par 2 observateurs indépendants dans le cadre d'une CMR**

## D. Analyse des résultats d'une CMR « virtuelle »

Pour une session de CMR virtuelle réalisée avec deux passages, l'abondance est estimée de la manière suivante :  $N = [(a+1)*(b+1)/(c+1)] - 1$ , où « a » représente le nombre de moule(s) vue(s) par le premier observateur, « b » le nombre de moule(s) vue(s) par le second et « c » le nombre de moule(s) vue(s) en commun par les deux observateurs.

La variance est calculée de la manière suivante :

$$\text{var}(N) = [(a+1)*(b+1)*(a-c)*(b-c)] / [(c+1)^2*(c+2)]$$

Elle permet d'obtenir un intervalle de confiance de l'estimation de l'abondance.

La détectabilité est enfin obtenue par la formule  $\beta_x = X / N$  pour un observateur « X ».

Pour des raisons pratiques, dans notre cas, avec au moins trois passages, les calculs et l'analyse des résultats obtenus sur le terrain sont effectués à l'aide du logiciel Mark © (White, G. C., and K. P. Burnham. 1999) avec des modèles « Closed Population » qui améliorent la fiabilité des résultats. Il est également possible de tester plusieurs modèles, en gardant à l'esprit qu'il faut retenir celui qui présente le plus petit AIC (Akaike Information Criterion) qui rend compte de la fiabilité du modèle statistique.

Le Logiciel propose alors :

- Une estimation de l'abondance totale sur les unités échantillonnées, avec un intervalle de confiance (en augmentant le nombre de passages, on diminue cet intervalle) et selon différents facteurs pouvant faire varier la détection (observateur, hétérogénéité individuelle, etc...),
- Une estimation de la détectabilité individuelle et moyenne avec des intervalles de confiance.

## E. Intérêt et limites de la CMR « virtuelle »

Mettre en œuvre cette CMR virtuelle, sous la forme d'une pré-étude par exemple, permet notamment :

- de prendre conscience de nos limites en termes de capacités de détection,
- d'appliquer ces taux de détection individuels aux dénombrements réalisés seul avec le même effort de prospection sur la zone d'étude,
- ou encore de tester les variations de ces taux de détections, au regard de variables telles que la profondeur, l'ombrage, le faciès...

Cette méthode proposée présente l'avantage de pouvoir être mise en œuvre rapidement, aisément, à peu près dans tous type de cours d'eau. Elle prend peu de temps et est assez ludique. Elle peut être testée avec des observateurs non avertis tout en conservant son intérêt.

Si elle est déclinée sur une surface suffisante (avec une sélection aléatoire des unités) ou sur l'ensemble d'une zone d'étude, elle fournit une estimation non biaisée de la taille de la population sur le site.

Par contre, le positionnement des observations sur le schéma, et le rapprochement des individus (vus / pas vu) sur la base du schéma, sont cruciaux pour la fiabilité de la méthode. Le fait de ne pas identifier les individus en commun peut produire des biais qui peuvent s'avérer non négligeables dans certaines conditions, et notamment pour les groupes d'individus. Il est parfois impossible de connaître avec certitude l'histoire de capture des individus de ces groupes. Une méthode consistant en la prise de clichés systématique des individus observés par chaque observateur, puis leur comparaison pourrait être testée afin de limiter ce biais lié au schéma.

Il faut donc rester vigilant dans l'utilisation des taux de détections individuels, et leur application (en ratio) aux prospections réalisées par la suite, en explicitant au mieux la méthode employée (zone d'étude, plan d'échantillonnage, méthode et effort de prospection puis analyse), en rappelant les intervalles de confiance et en explicitant les biais possibles (critères de choix des stations).

### III. Evaluation des taux de détection sur 3 cours d'eau par CMR virtuelle

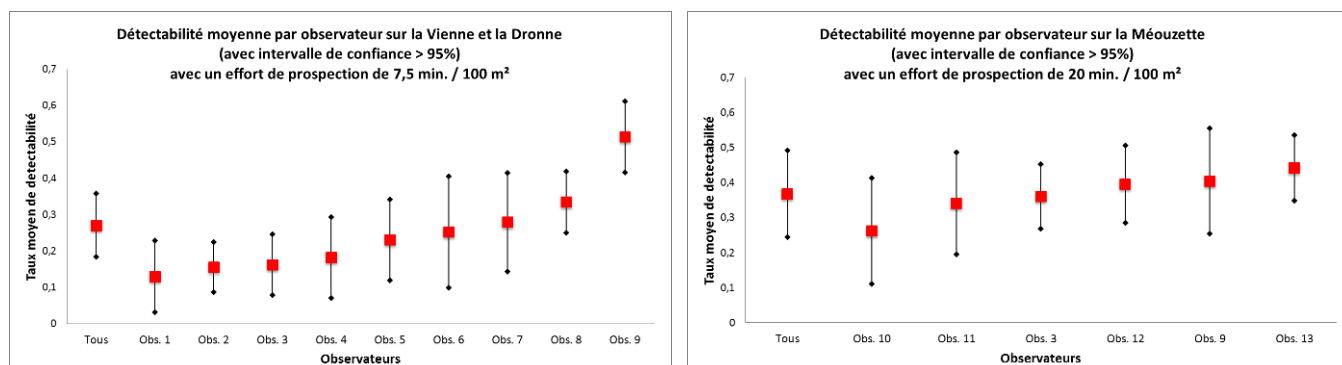
Les sessions de CMR virtuelle sur la Vienne (20 mètres de large, 6 sessions) et sur la Dronne (10 mètres de large, 4 sessions) ont été réalisées avec le même protocole, notamment en termes d'effort de prospection.

Les 12 sessions sur la Méouzette ont été réalisées en triplant l'effort de prospection par rapport aux deux autres zones d'étude, soit sur une base de 20 minutes de prospection pour 100 m<sup>2</sup>.

Ces 22 sessions de CMR virtuelle ont été réalisées au cours de 3 demi-journées de terrain qui ont eu lieu en 2014, avec l'appui du PNR de Millevaches en Limousin.

#### A. Taux de détection individuels

Les taux de détectabilité des différents observateurs (figure 3) sont **très variables**, allant de 0 à 72% sur la Vienne et la Dronne, et de 0 à 63 % sur la Méouzette. Lors d'un inventaire en un passage unique, **ces observateurs ratent donc entre 28 et 100 % des individus observables** (non enfouis).



**Figure 3 : détectabilité individuelle estimée par CMR virtuelle sur la Vienne et la Dronne (à gauche) et sur la Méouzette (à droite)**

Sur la Méouzette, 4 des 6 observateurs ont une détectabilité moyenne assez homogène, comprises entre 30 et 40%. Cependant, les intervalles de confiances sont assez larges et se chevauchent partiellement.

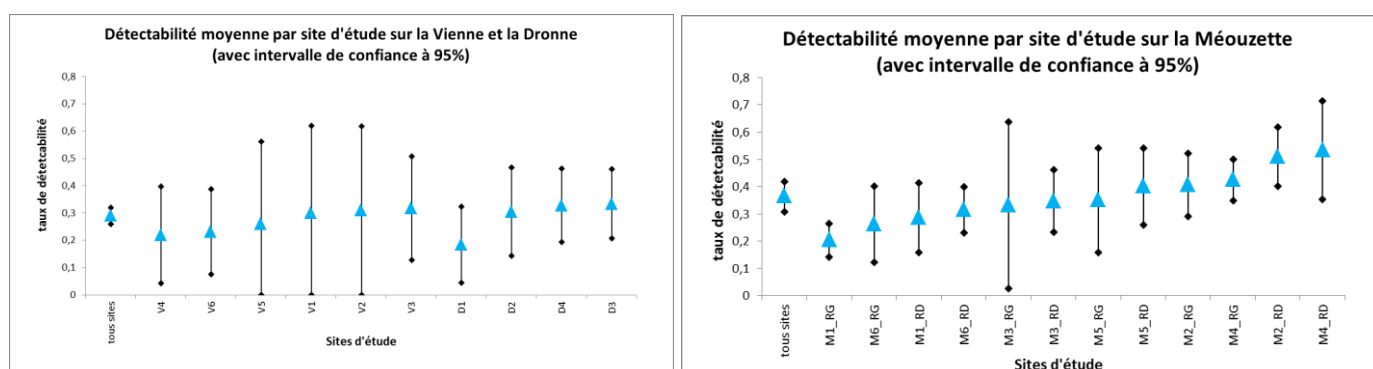
Il est intéressant de noter qu'il y a une très forte variabilité des taux de détectabilité entre les observateurs, mais aussi pour un même observateur, et ce, qu'il s'agisse d'observateurs avertis ou d'observateurs néophytes.

## B. Taux de détection et unité d'échantillonnage

Les intervalles de confiance rendent compte de la variabilité des contextes selon les stations de suivis, pour un même cours d'eau (figure 4).

V1, V5 et V2 présentent des intervalles larges, et donc une détectabilité très variable selon les observateurs. D1, V4 et V6 présentent une détectabilité plus basse, mais moins variable. Enfin, V3, D2, D3 et D4 présentent une détectabilité élevée et des intervalles de confiance plus faibles. M1\_RD et M3\_RD présentent des intervalles larges, et donc une détectabilité très variable selon les observateurs. M1\_RG et M3\_RG présentent une détectabilité plus basse, mais moins variable.

Enfin M2\_RG et M2\_RD présentent une détectabilité élevée et des intervalles de confiance plus faibles.



**Figure 4 : détectabilité par tronçon estimée par CMR virtuelle sur la Vienne et la Dronne (à gauche) et sur la Méouzette (à droite)**

Sur la Vienne et la Dronne, le **taux moyen de détectabilité** si ces observateurs avaient fait un inventaire (en un unique passage) aurait été de **28 %**. Notons que sur la Vienne, les intervalles de confiance sont plus élevés que sur la Dronne, ce qui s'explique sans doute par plus de variabilité de la prospection réelle effectuée lors de chaque passage sur ce cours d'eau large aux forts débits. Sur la Méouzette le **taux moyen de détectabilité** est de **35 %**. Notons que sur la Méouzette, les intervalles de confiance et la détectabilité selon les sites restent relativement homogènes.

**Les observateurs auraient donc raté, en moyenne, entre 65 et 72 moules sur 100** lors d'une prospection en un passage unique sur ces sites.

## C. Taux de détection et effort de prospection

En triplant l'effort de prospection sur la Méouzette, par rapport à la Vienne et à la Dronne, la détectabilité moyenne passe de 28 à 36 % d'individus observés, avec un écart significatif (figure 5), au regard des intervalles de confiance (à 95%).

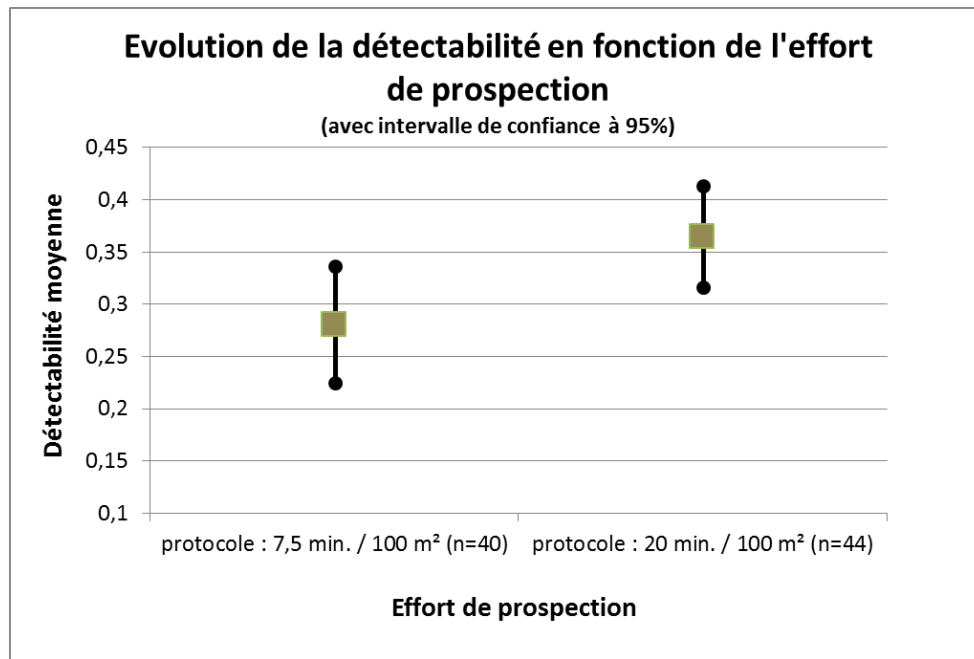


Figure 5 : évolution des taux de détection en fonction de l'effort de prospection



## D. Taux de détection et largeur du cours d'eau

En comparant les taux de détection sur les différents sites d'étude, notamment au regard de la largeur du cours d'eau, il est alors possible de définir un taux de détection moyen, applicable à d'autres sites d'étude similaires, à défaut de mise en place d'une expérimentation propre à chaque site (figure 6).

Il est intéressant de noter que plus le cours d'eau est large, plus le taux de détection moyen est faible (et son intervalle de confiance large), ce qui est vraisemblablement imputable aux difficultés de prospection propres aux grands cours d'eau.

Pour ces derniers, la prospection de couloirs (à plusieurs observateurs) pourrait paraître pertinente, mais elle induit alors d'autres biais puisque l'inventaire est alors réalisé par plusieurs observateurs simultanément.

Pour les cours d'eau de 5 à 10 mètres de larges, le taux moyen de détection apparaît compris entre 30 et 40%, avec un effort de prospection de 5 à 15 s/m<sup>2</sup>, alors qu'il est inférieur à 30% pour les cours d'eau large d'une vingtaine de mètres tels que la Vienne.

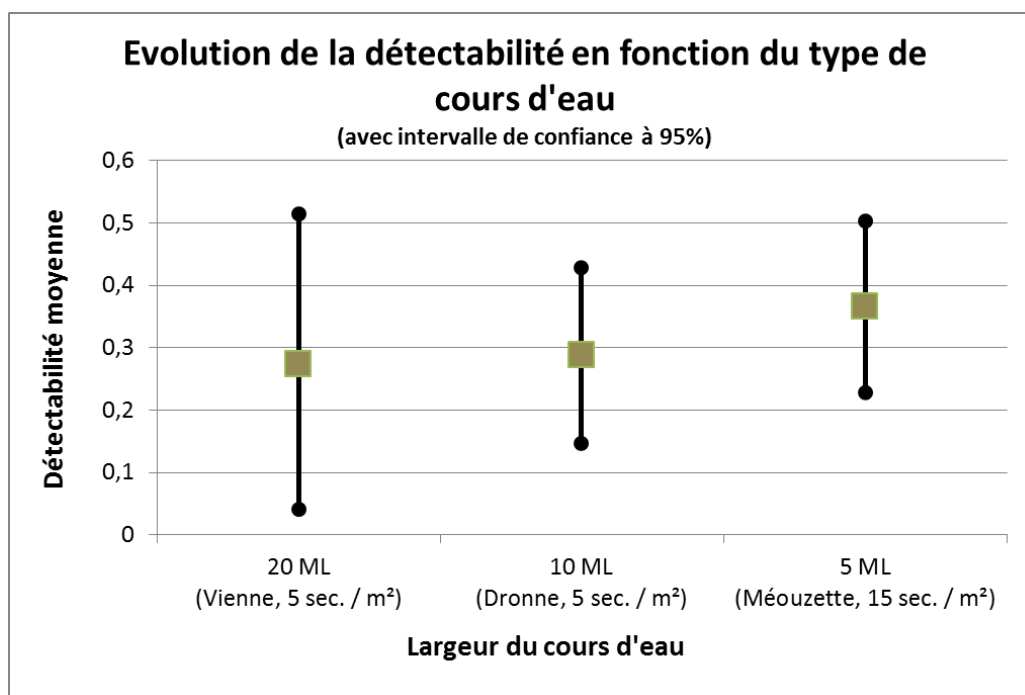
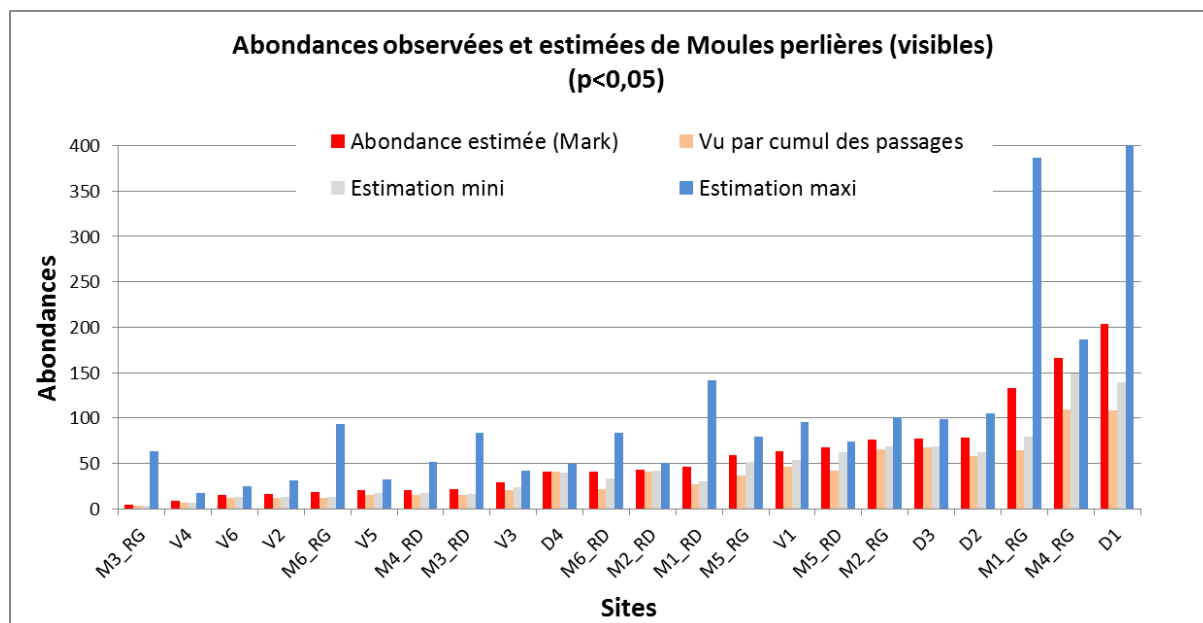


Figure 6 : synthèse des taux de détection moyen en fonction du type de cours d'eau

## E. Evaluation de la viabilité de la CMR pour le suivi de population

L'objet de l'étude étant de mieux appréhender les suivis dans le temps, il est utile d'évaluer la faisabilité et la précision d'un suivi par CMR virtuelle. Cela peut s'avérer utile par exemple, pour mesurer l'effet de mesures de gestion (effet d'un étang, installations d'abreuvoirs, de clôtures, plantations de ripisylve...) en comparant ces résultats à des sites témoins à proximité immédiate.



**Figure 7 : abondances observées et abondances estimées sur l'ensemble des sites d'étude**

Sur les unités V5 et V6 sur la Vienne, D2, D3 et D4 sur la Dronne ou encore M2 et M5 (figure 7), nous observons que l'abondance observée et l'abondance estimée sont relativement proches. Les intervalles de confiance des estimations (estimations mini et maxi) sur ces tronçons sont réduits, indiquant que les estimations sont très précises, et devraient permettre un suivi pertinent dans le temps. Ces sites doivent faire l'objet de suivis répétés avec le même protocole dans les années à venir en priorité.

Sur les unités V1, M1\_RD, M4\_RD, même si la fourchette de l'estimation est importante, nous sommes dans des cas intermédiaires, où l'estimation et l'abondance observée sont encore cohérentes, et où un suivi de population reste envisageable. Si le temps de travail disponible le permet, il sera bon de répéter ces suivis dans les années à venir.

Les unités D1, M1\_RG, M3\_RD, M3\_RG et M4\_RG sont par contre des sites où les estimations présentent des fourchettes très larges, et donc des estimations très peu précises. Les raisons à cela peuvent être multiples, biais observateur, turbidité, visibilité, profondeur, densité... Le suivi de ces sites sera alors abandonné, même si une seconde session de suivi, dans 5 à 10 ans pourraient potentiellement présenter un intérêt, principalement en cas de forte régression de la population. Notons qu'avec ce type de résultats, une augmentation du nombre de passages pourrait permettre d'obtenir une estimation plus fiable, pour assurer un suivi dans le temps pertinent.

## IV. Conclusion et perspectives

---

Cette étude a permis d'établir les taux de détection de la Moule perlière sur 3 cours d'eau « types », notamment en termes de largeur. Nous avons également pu montrer que l'effort de prospection influe peu sur cette problématique de la détection, puisqu'en triplant l'effort, le taux augmente de « seulement » 8%.

Les résultats confirment ainsi l'importance d'évaluer ces taux de détection, afin de réaliser un suivi de population, les résultats d'un dénombrement en un passage unique (sans disposer des taux de détection individuels) étant particulièrement aléatoire.

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. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

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. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

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.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

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  $\mu\text{m}$ , 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  $\mu\text{m}$  (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)

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

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 <sub>2</sub> ] dissous (mg O <sub>2</sub> /L; % satur)	pH	Conductivité (µS/cm)	Nitrates (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	Orthophosphates (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	Ammoniums (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	DBO5 (mg O <sub>2</sub> /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 km<sup>2</sup> 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*).

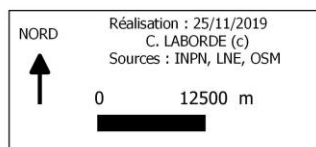
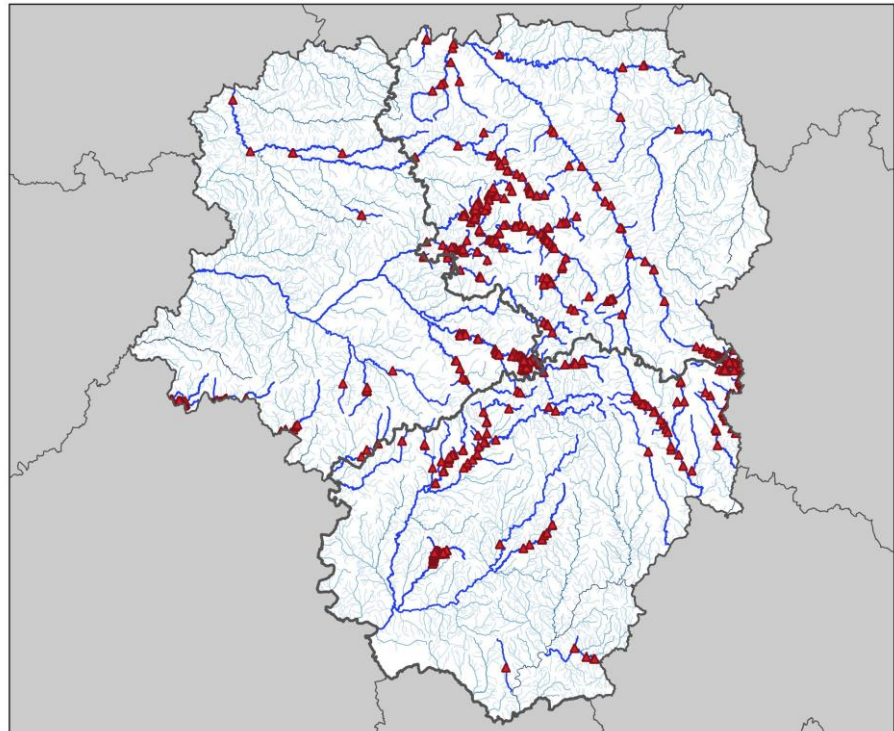
Après plusieurs années de prospections régulières entre 2008 et 2020, on estime aujourd'hui qu'il y a au moins 40 000 Moules perlières en Limousin-Dordogne. Les experts du Groupe Mulette limousin considèrent 7 cours d'eau (sur les plus de 80 cours d'eau de la région qui abritent l'espèce) comme prioritaires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

- 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.



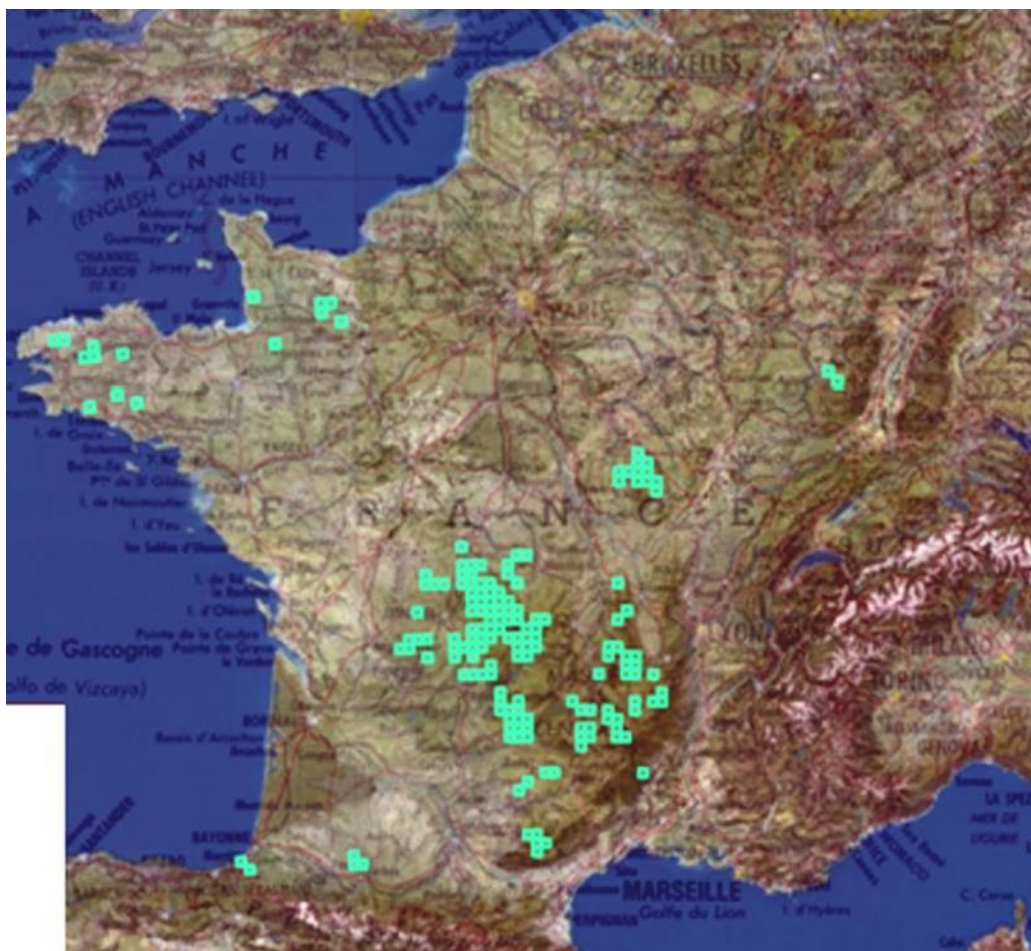
Suivis scientifiques des sites natura 2000  
Synthèse de l'état des connaissances concernant  
*Margaritifera margaritifera* en Corrèze, Creuse et Haute-Vienne



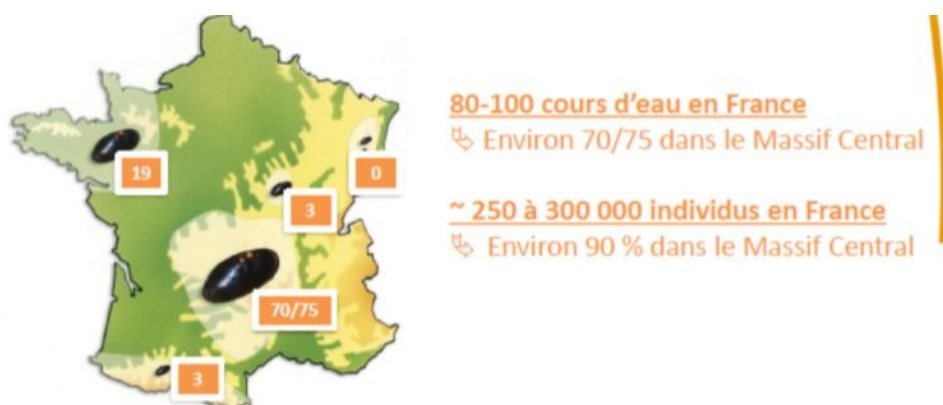
Répartition limousine de la Moule perlière (Laborde et Al, 2019)

Dans les Pyrénées Atlantiques, une population est également connue sur la Nivelles 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. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.



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



**Responsabilité majeure** du Massif Central au niveau national

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 - 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.



LIMOUSIN NATURE  
ENVIRONNEMENT



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.



Nature et  
Environnement  
Consultant

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.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.

Appel à projet suivis scientifiques 2020 des sites Natura 2000 de Nouvelle-Aquitaine. Etude des taux de détection de la Moule perlière par CMR virtuelle sur 3 cours d'eau du Limousin.



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