

Etude de la dynamique de population de la Moule perlière sur la Vienne par des modèles d'abondance à mélange N-mixture. **Version provisoire du 15 janvier 2015**

Laborde C.¹, Naudon D.², Marcillaud C.², Besnard A.³

¹ Syndicat mixte du PNR de Millevaches en Limousin, 20 Place des Porrots, 19250 Meymac, France
c.laborde@pnr-millevaches.fr

² Limousin Nature Environnement, Centre Nature la Loutre, 87430 Verneuil-sur-Vienne, France
dnloutre@orange.fr ; cloclo.marcillaud@orange.fr

³ CEFE UMR 5175, CNRS - Université de Montpellier - Université Paul-Valéry Montpellier – EPHE,
laboratoire Biogéographie et écologie des vertébrés, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier cedex 5, France.
aurelien.besnard@cefe.cnrs.fr

I. INTRODUCTION

Le Limousin est le contrefort Ouest du Massif Central. Ce massif granitique est caractérisé par la présence d'un réseau hydrographique très dense. Ce territoire favorable à la Moule perlière (*Margaritifera margaritifera*), présente au moins 46 rivières occupées par l'espèce, mais cette dernière est largement méconnue (moins de 1% (PRA, 2014) du linéaire favorable à l'espèce prospecté (Onema, 2009)).

Une étude menée en 2011 (Laborde, 2011) avait mis en évidence un secteur de 15 km (entre Nedde (87) et Tarnac (19)) où nous avons recensé 746 individus sur 2,44 km. La plus jeune mulette observée mesure 1.8 cm (**figure 1**), la proportion de juvéniles (< à 6 cm) est de 43 %, et la reproduction est avérée (présence régulière de glochidies sur les Truites fario. Cette population apparaît comme un « hotspot » du bassin de la Vienne en relativement bon état de conservation en termes de démographie (**figure 2**).

En 2013, une étude génétique a été menée (Kuehn & Geist, 2014). D'après Geist, la population de la Vienne présente « une très grande variabilité génétique et une faible influence de la dérive génétique [...]. La qualité du substrat [...] correspond à la qualité observée dans les populations fonctionnelles, [...] cette population mérite une haute priorité de conservation » (**figure 3**).

Afin de suivre la dynamique de population, en 2014, un suivi par comptage répétés a été engagé (**figure 4**) sur un échantillonnage aléatoire systématique de tronçons de rivières entre Nedde (87) et Tarnac (19) qui prend en compte la détectabilité de l'espèce. Ces travaux ont été réalisés sous couvert d'une autorisation préfectorale.

II. MATERIEL ET METHODE

a. Les modèles d'abondance à mélange (Royle, 2004)

Les Modèles d'abondance à mélange ou N-Mixture (Royle, 2004) reposent sur un échantillonnage aléatoire et un comptage répété sur plusieurs sites. Ce modèle implique que les abondances locales suivent une loi de Poisson et que la répartition et le comptage des individus sont indépendants du temps. Il permet d'obtenir une estimation de l'abondance moyenne par site, du taux d'occupation des sites, et la probabilité de détection des individus. La méthode permet d'observer l'évolution démographique de cette population à chaque répétition du suivi (mortalité, natalité, colonisation, extinction...).

Les hypothèses d'utilisation de cette méthode sont :

- La population est fermée au cours de chaque année d'étude.
- Les détections au sein de chaque site sont constantes et indépendantes entre les visites. Des variations peuvent être modélisées à l'aide de co-variables.
- Le facteur d'intégration K doit être défini (limite haute de l'abondance par site).

b. Le protocole mis en œuvre

84 sites d'étude ont été sélectionnés par un tirage aléatoire systématique en prenant un tronçon de 20 mètres linéaires (par 20 m de large) tous les 200 m sur un linéaire de 15 km (la zone d'étude). Une prospection du fond de la rivière est réalisée au bathyscope sur chaque site en 30 minutes et à 3 reprises (figure 5).

Il s'agit de faire 4 aller-retour dans la rivière en couvrant toute la surface et de noter l'abondance observée (mortes et vivantes). Chaque tronçon est localisé au GPS et marqué à la peinture. L'hydro-morphologie du cours d'eau et de ses abords est également relevée.

c. L'analyse des données (N-Mixture)

Les modèles de « N-Mixture » sont des outils statistiques robustes qui vont estimer l'ensemble des probabilités calculables sur les tronçons étudiés. Plusieurs modèles peuvent être comparés notamment pour explorer l'impact de covariables sur la probabilité de détection des individus ou sur l'abondance locale.

Le « critère d'information d'Akaike » est utilisé pour comparer les modèles. Ce critère permet de retenir le modèle qui décrit le mieux les données avec le moins de paramètres possibles. Il est fourni avec les estimations dans le logiciel PRESENCE © (Hines, 2006).

Nous testons ensuite l'adéquation du modèle avec les données à l'aide d'un « Goodness-of-fit test ». Suite à ces tests, des effets aléatoires sur la détection et sur l'abondance ont été introduit. Pour ce faire les analyses ont été reproduites dans le cadre Bayésien pour améliorer la fiabilité des résultats et ce au regard de la variabilité de l'abondance, imputable entre autre aux phénomènes d'enfouissements. Ainsi, la probabilité de détection et l'abondance observées sont autorisées à varier autour d'une moyenne, en suivant une Loi normale.

III. RESULTATS

a. *Résultats bruts du modèle N-Mixture (Royle, 2004)*

Le suivi a permis de réaliser 3 passages sur 51 tronçons. Les tronçons non prospectés l'ont été faute de temps et / ou d'accessibilité. Les résultats bruts sont présentés dans le tableau n° 1.

Dénombrement abondance							Hydrologie						Berges et ripisylve						Parcelles rivéraines	
Code tronçon	Nb ind passage 1 (juin 2014)	Nb ind passage 2 (juillet 2014)	Nb ind passage 3 (août 2014)	Nb coq passage 1 (juin 2014)	Nb coq passage 2 (juillet 2014)	Nb coq passage 3 (août 2014)	Profondeur moyenne (en cm)	Ombrage	Facès dominant	Recouvrement de la végétation aquatique	Colmatage	Classe colmatage (Archambaud et Al. 2005)	Stabilité des berges	Couple de substrats dominants (1 et 2)	Qualification du couple de substrats	Coefficient d'abondance de la strate ribuvulaire	Coefficient d'abondance de la strate arbustive rivulaire	Coefficient d'abondance de la strate herbacée rivulaire	Occupation des sols sur les parcelles rivéraines	Qualification de l'occupation des sols sur les parcelles rivéraines
10	0	0	0	0	0	0	100	Fort	Rapide	nul	Fort	4	Forte	PierrePierre	Mauvais	4	2	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
20	0	0	1	0	0	0	80	Fort	Rapide	nul	Moyen	2	Forte	PierrePierre	Mauvais	3	2	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
30	1	0	0	0	0	0	80	Faible	Rapide	nul	Nul	1	Faible	PierrePierre	Mauvais	3	2	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
40	1	2	0	0	0	0	60	Moyen	Plat courant	Faible	Nul	1	Forte	Pierresable	Moyen	5	1	5	Forêt feuilluePrairie	Moyen
50	2	2	2	0	0	0	60	Moyen	Rapide	Faible	Nul	1	Moyenne	Pierresable	Moyen	5	0,1	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
60	0	1	0	1	0	1	30	Faible	Plat courant	moyen	Faible	2	Moyenne	caillousable	Moyen	5	2	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
70	3	2	1	0	0	0	80	Moyen	Plat courant	Faible	Faible	2	Moyenne	BlocPierre	Mauvais	4	2	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
80	0	0	0	0	0	0	60	Moyen	Plat courant	Faible	Moyen	4	Forte	Blocable	Moyen	4	0	3	Forêt feuilluePrairie	Moyen
90	0	0	0	0	0	0	100	Moyen	Plat courant	Faible	Moyen	3	Forte	sablePierre	Moyen	4	2	2	Forêt feuilluePrairie	Moyen
100	1	7	8	0	0	0	100	Fort	Plat courant	Nul	Nul	1	Forte	Dallesable	Moyen	4	1	2	Zone urbaniseeForêt feuillue	Moyen
120	15	17	35	1	0	0	30	Faible	Plat courant	Faible	Nul	1	Forte	PierreCaillou	Mauvais	2	2	3	Zone urbaniseeForêt feuillue	Moyen
150	12	8	14	2	2	0	40	Moyen	Plat courant	Nul	Nul	1	Forte	Blocable	Moyen	3	1	4	PrairieForêt feuillue	Moyen
160	1	1	5	0	0	0	60	Moyen	Plat courant	Nul	Nul	1	Forte	BlocPierre	Mauvais	4	2	3	PrairiePrairie	Moyen
180	3	1	2	0	0	0	40	Moyen	Radier	Faible	Faible	1	Moyenne	Pierresable	Moyen	3	1	3	CulturesCultures	Mauvais
190	7	0	15	1	0	0	40	Moyen	Radier	Faible	Nul	1	Forte	caillousable	Moyen	3	0	3	PrairiePrairie	Moyen
200	1	2	5	1	0	0	60	Moyen	Radier	Nul	Faible	1	Moyenne	sablePierre	Moyen	1	3	1	PrairieForêt feuillue	Moyen
210	1	6	1	2	0	0	60	Moyen	Mouille	Moyen	Faible	1	Forte	Dallesable	Moyen	4	2	2	PrairiePrairie	Moyen
230	0	0	0	0	0	0	30	Faible	Radier	Faible	Moyen	3	Forte	PierreGravier	Bon	5	3	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
250	0	2	2	0	0	0	60	Fort	Radier	Faible	Faible	1	Forte	Blocable	Moyen	4	1	4	Forêt feuillueZone urbanisee	Moyen
260	3	5	0	1	0	0	60	Moyen	Radier	Faible	Faible	2	Forte	DalleGravier	Bon	1	2	4	Zone urbaniseeForêt résineux	Mauvais
270	1	3	0	0	1	0	30	Moyen	Radier	Faible	Faible	2	Forte	GravierPierre	Bon	4	0,1	2	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
280	18	16	11	6	5	1	50	Moyen	Plat courant	Faible	Faible	1	Moyenne	sablePierre	Moyen	4	2	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
290	53	64	51	4	6	5	60	Moyen	Plat courant	Faible	Moyen	3	Moyenne	sablePierre	Moyen	3	3	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
300	4	5	1	0	0	0	80	Moyen	Plat lentique	Faible	Moyen	4	Moyenne	BlocGravier	Bon	0	2	2	PrairieForêt feuillue	Moyen
310	2	1	0	0	0	0	80	Moyen	Plat lentique	Nul	Fort	4	Moyenne	sableCaillou	Moyen	2	1	3	PrairiePrairie	Moyen
320	9	16	5	0	0	0	60	Faible	Plat lentique	Faible	Moyen	4	Moyenne	sableCaillou	Moyen	3	4	3	PrairiePrairie	Moyen
340	4	7	2	0	0	0	80	Nul	Plat lentique	Faible	Fort	4	Moyenne	sablePierre	Moyen	4	3	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
350	5	1	4	1	2	0	50	Moyen	Plat courant	Moyen	Moyen	3	Forte	sablePierre	Moyen	3	2	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
360	1	3	0	1	0	0	80	Moyen	Plat lentique	Nul	Fort	5	Moyenne	sableGravier	Moyen	3	2	3	Forêt feuilluePrairie	Moyen
370	4	8	4	0	0	0	30	Fort	Plat courant	Faible	Faible	1	Moyenne	sableCaillou	Moyen	3	3	4	PrairieForêt feuillue	Moyen
380	0	2	0	1	0	0	60	Moyen	Plat courant	Fort	Fort	4	Moyenne	sablePierre	Moyen	4	3	4	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
390	2	6	0	0	0	0	40	Moyen	Plat courant	Faible	Nul	1	Forte	PierreCaillou	Mauvais	2	3	2	PrairiePrairie	Moyen
400	1	5	1	1	1	0	60	Moyen	Plat courant	Faible	Faible	2	Moyenne	sableCaillou	Moyen	3	2	4	CulturesForêt feuillue	Mauvais
410	2	6	1	0	0	0	30	Faible	Plat courant	Moyen	Nul	1	Forte	caillouPierre	Mauvais	2	3	4	Forêt résineuxCultures	Mauvais
420	0	2	0	0	0	0	60	Faible	Plat courant	Faible	Moyen	3	Moyenne	sablePierre	Moyen	4	2	4	CulturesPrairie	Mauvais
430	1	3	0	1	1	0	30	Faible	Plat courant	Moyen	Nul	1	Forte	BlocPierre	Mauvais	1	4	3	PrairieCultures	Mauvais
440	0	0	1	1	1	0	80	Fort	Radier	Faible	Nul	1	Moyenne	sableBloc	Moyen	3	3	4	Forêt feuilluePrairie	Moyen
450	0	0	0	0	0	0	30	Fort	Plat courant	Faible	Nul	1	Forte	BlocPierre	Mauvais	4	1	1	PrairieForêt feuillue	Moyen
460	18	18	17	1	2	0	80	Fort	Radier	Nul	Moyen	4	Moyenne	sablePierre	Moyen	4	1	3	PrairieForêt feuillue	Moyen
470	0	0	0	0	0	0	30	Fort	Plat courant	Faible	Nul	1	Forte	caillouGravier	Bon	4	1	2	PrairiePrairie	Moyen
480	9	19	12	4	2	0	30	Fort	Plat lentique	Faible	Fort	5	Forte	GravierCaillou	Bon	2	3	4	PrairieCultures	Mauvais
490	0	0	0	0	0	0	100	Fort	Plat lentique	Nul	Fort	5	Moyenne	sableGravier	Moyen	2	2	2	Forêt feuilluePrairie	Moyen
500	1	2	0	1	2	0	50	Moyen	Plat courant	Faible	Nul	1	Moyenne	sableCaillou	Moyen	2	3	2	PrairiePrairie	Moyen
510	1	1	1	1	0	0	80	Moyen	Plat courant	Moyen	Nul	1	Moyenne	sableCaillou	Moyen	2	2	3	PrairieForêt feuillue	Moyen
530	0	2	1	1	1	0	40	Faible	Plat courant	Faible	Faible	1	Moyenne	GravierPierre	Bon	4	3	2	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
540	1	3	2	1	0	0	60	Moyen	Plat courant	Moyen	Nul	1	Moyenne	GravierPierre	Bon	3	3	2	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
550	0	4	0	0	0	0	50	Moyen	Plat courant	Moyen	Nul	1	Moyenne	sableCaillou	Moyen	4	4	3	Forêt feuillueForêt feuillue	Bon
640	0	1	0	0	1	0	80	Moyen	Plat lentique	Nul	Faible	1	Moyenne	GravierCaillou	Bon	1	1	2	Forêt feuillueCultures	Mauvais
650	0	0	0	0	0	0	50	Moyen	Radier	Moyen	Nul	1	Moyenne	caillouPierre	Mauvais	2	3	1	PrairieCultures	Mauvais
660	0	0	0	0	0	0	40	Moyen	Radier	Fort	Faible	2	Forte	GravierCaillou	Bon	4	3	4	PrairiePrairie	Moyen
670	0	0	0	0	0	0	100	Faible	Plat lentique	Nul	Moyen	3	Forte	sablePierre	Moyen	1	0,1	1	Zone urbaniseePrairie	Mauvais

Tableau n° 1 : résultats bruts des 3 passages sur les 51 sites d'étude (LNE & PNR ML, 2014)

Concernant l'analyse des données, le facteur K a été fixé à 200. La co-variable retenue est le code tronçon. Nous avons utilisé le modèle de « Royle's biométric -Repeated Count Data » de PRESENCE (Hines, 2006). L'analyse a été réalisée à 3 reprises : vivants, coquilles et les deux (figure n°6). Les coquilles vides peuvent « sortir » ou « entrer » dans la population d'étude, conduisant à un non-respect de l'hypothèse de population close entre les passages. La forte variabilité des observations de coquilles au cours des 3 passages rend caduque toute analyse de ces données. Nous ne poursuivrons donc pas sur l'interprétation sur ces coquilles.

Suite aux « Goodness-of-fit test » peu concluants sur le jeu de données, nous avons ajouté des effets aléatoires en « bayésien » (tableau n° 2), afin de mieux prendre en compte les phénomènes d'enfouissement.

Code tronçon	Nb ind passage 1 (juin 2014)	Nb ind passage 2 (juillet 2014)	Nb ind passage 3 (août 2014)	Max d'obs au cours des 3 passages	ID site	Taux détectabilité	Mean (abondance estimée)	Mean (Densité estimée au m²)	Standard dev.	2.5%	25,0%	50,0%	75,0%	97,5%	Rhat
230	0	0	0	0	N[18]	0,00%	3	0,009	7,27	0	0	1	4	22	1,10
470	0	0	0	0	N[40]	0,00%	3	0,009	7,32	0	0	1	4	22	1,08
90	0	0	0	0	N[25]	0,00%	3	0,009	7,37	0	0	1	4	22	1,11
450	0	0	0	0	N[33]	0,00%	3	0,009	7,47	0	0	1	4	22	1,10
660	0	0	0	0	N[43]	0,00%	3	0,009	7,38	0	0	1	4	22	1,09
670	0	0	0	0	N[51]	0,00%	3	0,009	7,61	0	0	1	4	22	1,11
10	0	0	0	0	N[9]	0,00%	3	0,009	7,99	0	0	1	4	22	1,12
80	0	0	0	0	N[16]	0,00%	3	0,009	7,76	0	0	1	4	22	1,12
490	0	0	0	0	N[23]	0,00%	3	0,009	7,91	0	0	1	4	22	1,13
650	0	0	0	0	N[30]	0,00%	4	0,009	8,05	0	0	1	4	22	1,13
60	0	1	0	1	N[17]	13,50%	7	0,019	11,82	1	2	4	8	39	1,01
440	0	0	1	1	N[21]	13,46%	7	0,019	11,79	1	2	4	8	39	1,01
30	1	0	0	1	N[8]	13,27%	8	0,019	12,42	1	2	4	8	39	1,01
640	0	1	0	1	N[4]	13,22%	8	0,019	12,74	1	2	4	8	40	1,01
20	0	0	1	1	N[10]	13,05%	8	0,019	14,33	1	2	4	8	40	1,01
380	0	2	0	2	N[14]	16,99%	12	0,029	16,80	2	3	6	13	56	1,01
420	0	2	0	2	N[3]	16,93%	12	0,030	17,09	2	3	6	13	57	1,01
510	1	1	1	1	N[36]	6,58%	15	0,038	22,67	1	4	8	17	77	1,01
40	1	2	0	2	N[19]	12,87%	16	0,039	22,33	2	4	8	18	75	1,01
500	1	2	0	2	N[46]	12,81%	16	0,039	22,35	2	4	8	18	76	1,01
530	0	2	1	2	N[5]	12,78%	16	0,039	22,73	2	4	8	18	76	1,01
310	2	1	0	2	N[47]	12,50%	16	0,040	25,59	2	4	8	18	77	1,02
250	0	2	2	2	N[27]	10,20%	20	0,049	27,19	2	5	11	22	95	1,01
430	1	3	0	3	N[29]	14,97%	20	0,050	27,28	3	6	11	23	94	1,02
270	1	3	0	3	N[7]	14,90%	20	0,050	27,48	3	6	11	23	95	1,02
360	1	3	0	3	N[22]	14,86%	20	0,050	27,77	3	6	11	23	95	1,02
550	0	4	0	4	N[11]	19,32%	21	0,052	26,52	4	7	12	23	94	1,02
70	3	2	1	3	N[15]	10,58%	28	0,071	38,44	3	8	16	33	136	1,02
180	3	1	2	3	N[1]	10,49%	29	0,072	38,85	3	8	16	33	137	1,01
50	2	2	2	2	N[20]	6,91%	29	0,072	43,69	2	7	15	33	139	1,01
540	1	3	2	3	N[6]	10,34%	29	0,073	43,14	3	8	16	33	139	1,02
400	1	5	1	5	N[2]	15,07%	33	0,083	42,79	5	10	19	38	153	1,02
160	1	1	5	5	N[39]	15,04%	33	0,083	43,59	5	10	19	38	154	1,02
260	3	5	0	5	N[50]	13,34%	37	0,094	49,53	5	11	21	43	174	1,02
390	2	6	0	6	N[44]	15,99%	38	0,094	47,74	6	12	21	43	173	1,02
200	1	2	5	5	N[37]	13,29%	38	0,094	49,76	5	11	21	44	176	1,02
210	1	6	1	6	N[42]	15,66%	38	0,096	53,81	6	12	21	43	174	1,02
410	2	6	1	6	N[28]	14,26%	42	0,105	55,61	6	13	24	49	190	1,02
350	5	1	4	5	N[24]	10,86%	46	0,115	59,34	5	13	26	54	212	1,02
300	4	5	1	5	N[32]	10,67%	47	0,117	63,51	5	13	26	54	220	1,02
340	4	7	2	7	N[26]	11,83%	59	0,148	74,32	8	17	34	70	272	1,02
100	1	7	8	8	N[48]	11,00%	73	0,182	96,74	9	21	41	84	340	1,02
370	4	8	4	8	N[35]	10,93%	73	0,183	90,68	9	21	42	87	340	1,02
190	7	0	15	15	N[41]	16,01%	94	0,234	110,09	16	31	55	110	427	1,02
320	9	16	5	16	N[45]	11,99%	133	0,334	157,43	18	40	78	158	619	1,02
150	12	8	14	14	N[34]	8,97%	156	0,390	199,87	16	44	89	185	727	1,02
480	9	19	12	19	N[31]	10,77%	176	0,441	205,66	22	52	105	215	776	1,02
280	18	16	11	18	N[13]	8,85%	203	0,508	252,37	21	58	118	245	949	1,02
460	18	18	17	18	N[38]	7,34%	245	0,613	329,33	22	67	139	288	1124	1,02
120	15	17	35	35	N[49]	12,04%	291	0,727	340,18	40	88	171	346	1356	1,02
290	53	64	51	64	N[12]	8,79%	728	1,820	865,56	75	207	429	878	3395	1,02
					total N		2974	0,146	3366,55	455	950	1792	3575	14040	1,02
					alpha.lam		2,5367		0,86	1,195	1,859	2,436	3,112	4,44	1,01
					beta		-2,1404		1,00	-4,23	-2,84	-2,1	-1,38	-0,4	1,02
					mean.N		58,3093		66,01	8,922	18,63	35,14	70,1	275,3	1,02
					mean.det	15,57%	0,1557		0,12	0,016	0,062	0,123	0,228	0,426	1,02
					sd.lam		1,5814		0,24	1,165	1,413	1,562	1,729	2,11	1,00
					sd.p		0,7146		0,32	0,326	0,502	0,631	0,834	1,578	1,00
					fit		86,5031		20,86	44,6	72,49	87,63	100,9	125,6	1,00
					fit.new		80,5761		18,05	44,65	68,52	81,07	92,76	115,5	1,00
					deviance		425,2300		36,55	333,1	407,7	432,5	450,2	479	1,00

Tableau n°2 : résultats des estimations suite à la modélisation N-Mixture en Bayésien (LNE & PNR ML, 2014)

b. Occupation des sites et détectabilité

Lors de chaque passage, nous avons eu 32, 37 puis 27 sites où l'espèce a été détectée. Le cumul des passages permet d'affirmer qu'au moins 80% des sites sont occupés. En un passage, on détecte donc l'espèce 5 à 7 fois sur 10. Le modèle « N-Mixture » retenu nous indique lui que 99,99% des sites seraient occupés mais avec des abondances variables. Lorsque l'on observe aucune moule sur un site à 3 reprises, il y a très probablement 3 à 4 individus.

La probabilité de détection individuelle des moules est comprise entre 0,00% et 19,32 % selon les sites et les passages. En réalisant, 3 passages de 30 minutes sur 400 m², nous « ratons » en moyenne 84 individus sur 100 à chaque passage avec une détectabilité globale sur l'étude de 15,57%.

Nous avons recherché les corrélations entre la détectabilité et les paramètres hydro-morphologiques relevés. La **figure 7** illustre la baisse de la détectabilité lorsque la profondeur du cours d'eau dépasse 80 cm. La visibilité devient très mauvaise. Dans une moindre mesure, un ombrage fort fait chuter la détectabilité.

c. *Abondance et densité*

Il y a plus de 95 % de chance de trouver entre 177 et 255 individus lors d'un passage sur les tronçons d'étude alors que le cumul des observations permet d'affirmer qu'il y a eu au moins 321 individus distincts observés au cours des 3 passages.

Lors de chaque passage, nous avons compté successivement 188, 254, et 205 individus vivants. Le modèle nous indique quant à lui que l'abondance réelle est de l'ordre de 2974 individus vivants (avec un intervalle de confiance à 95% très large compris entre 455 et 14040) sur ces 51 sites.

Les densités par site sont donc comprises entre 0.009 et 1.82 individus vivants au m², avec une moyenne de 0.146. Les 10 sites pour lesquels aucune observation n'a été faite présente des densités inférieures à 1 individu au 100m². La **figure 8 illustre** le fait que la détectabilité est optimale pour des densités ni trop faibles ni trop fortes.

Nous avons recherché les corrélations entre l'abondance moyenne par site et les paramètres hydro-morphologiques relevés. Etonnamment, aucun effet du substrat, du colmatage, ou encore du faciès n'a pu être observé sur l'abondance ce qui peut s'expliquer par le fait que l'habitat est globalement favorable. La **figure 9** illustre la seule relation observée selon laquelle les Moules perlières sont plus abondantes dans les secteurs de forêts feuillues.

IV. DISCUSSION

Ce suivi présente des limites : biais observateur, phénomène d'enfouissement... La fourchette très large de l'estimation illustre ces biais. Pour y pallier, nous avons rendu la détectabilité et l'abondance variables dans notre modèle, permettant à ce dernier de prendre en compte les individus ayant passé une partie du suivi enfouis. Mais que faire des individus potentiellement restés enfouis tout au long des 3 passages ?

Un taux d'individus enfouis compris entre 24 et 61% a été observé en Normandie (Beaufils, 2012) sur 3 sites d'étude et sur une période s'étalant de fin mai à fin juillet.

Nous pourrions envisager d'étudier l'enfouissement par Capture Marquage Recapture (Otis et al., 1978), ou bien de réaliser les 3 passages sur un site au cours de la même journée mais ceci ajouterait un nouveau biais sur la détectabilité lié à la mémorisation des observations d'un passage à l'autre.

Ces résultats ont été mis en regard avec un suivi similaire basé sur la CMR et réalisé en 2014 (PRA, 2014), ne prenant en compte que les individus non enfouis. Les deux études sont très cohérentes et apportent un crédit aux modèles statistiques développés ici.

V. CONCLUSION

Notre étude a permis d'estimer l'abondance de Moules perlière sur notre échantillonnage à 2974 individus soit une moyenne de 0,146 individu au m² (de 0,009 et 1,82 selon les sites). 100 % des sites sont occupés par l'espèce. On peut conclure que détecter la présence de l'espèce sur un site de 400 m² avec les densités en présence est assez aisé.

Concernant l'abondance, sur un cours d'eau large et avec un opérateur unique réalisant 3 passages répétés, la détectabilité de l'espèce reste très faible, et **l'opérateur n'observe qu'entre 0 et 19%** des individus. Ceci induit des intervalles de confiance très larges sur les estimations d'abondance. Une étape de modélisation plus précise de la détectabilité et des variations d'abondance entre les sites pourrait permettre d'affiner ces estimations.

Cette étude illustre l'importance de prendre en compte la détectabilité dans le suivi de population de mulette, l'observateur ne contactant que très peu d'individus, seul des modèles statistiques robustes permettent d'estimer et de suivre dans le temps la dynamique de population d'une espèce comme la Moule perlière.

VI. BIBLIOGRAPHIE

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.

HINES, J. E. 2006. PRESENCE - Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS Patuxent Wildlife Research Center.

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 B., (2011). « Structure et dynamique de population de la Mulette perlière (*Margaritifera margaritifera*) sur la haute vallée de la Vienne ». Revue EPOPS n° 82 - la revue des naturalistes du Limousin. pp. 24-48.

ONEMA. 2009. Note méthodologique de localisation et de caractérisation des cours d'eau à *Margaritifera margaritifera* dans le Massif Central V1. 125 p.

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.

PRA, 2014. Bilan annuel du Plan Régional d'Action en faveur de la Moule perlière en Limousin. Version provisoire.

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

VII. LEGENDE DES ILLUSTRATIONS



Figure n°1 : cliché d'un juvénile de Moule perlière de 1.8 cm observé sur Nedde (87) (© LABORDE, 2011)

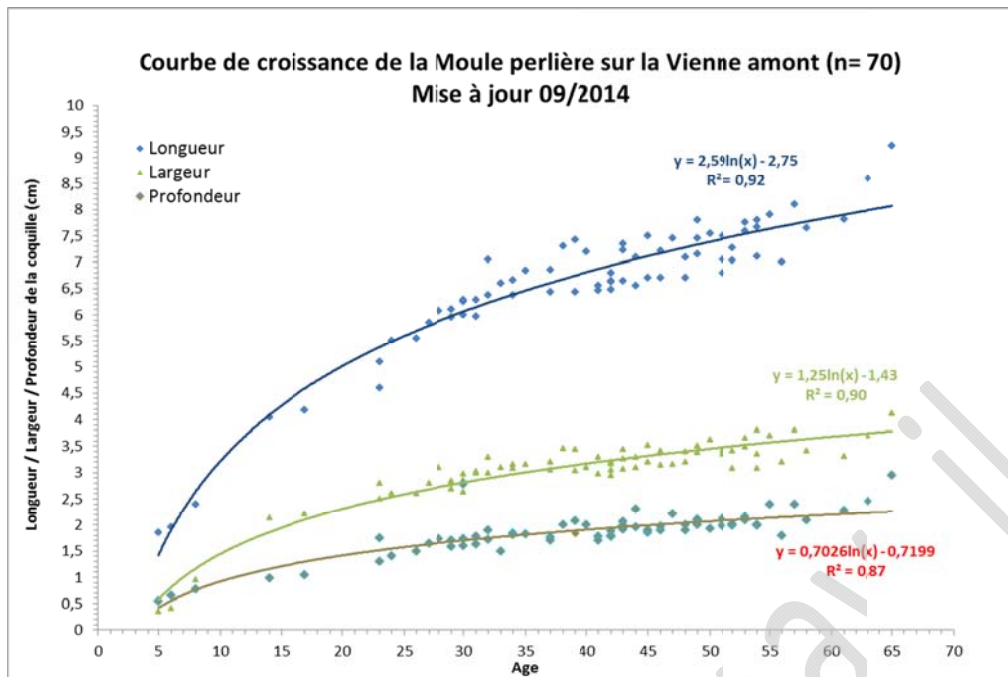


Figure n°2 : courbe de croissance de la Moule perlière sur la haute vallée de la Vienne (LABORDE, 2014)

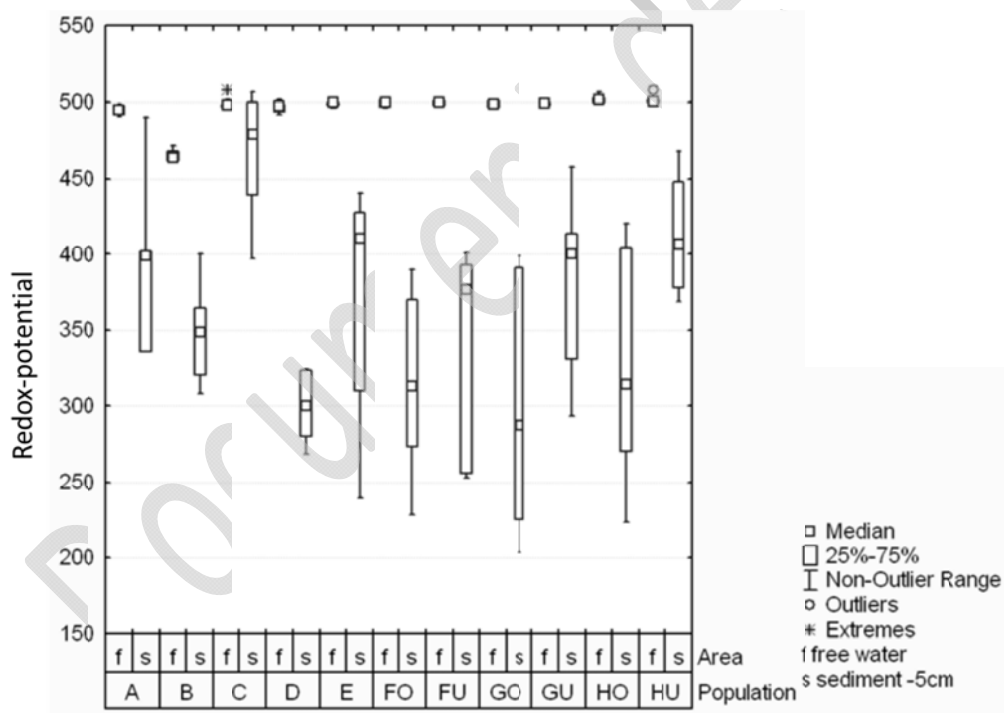


Figure n°3 : « Boxplot » du potentiel redox dans l'eau libre et à 5 cm de profondeur dans le substrat des populations de *Margaritifera margaritifera* de la région Limousin (France). Le site « C » est la Vienne à Nedde (87) (Kuehn & Geist, 2014).

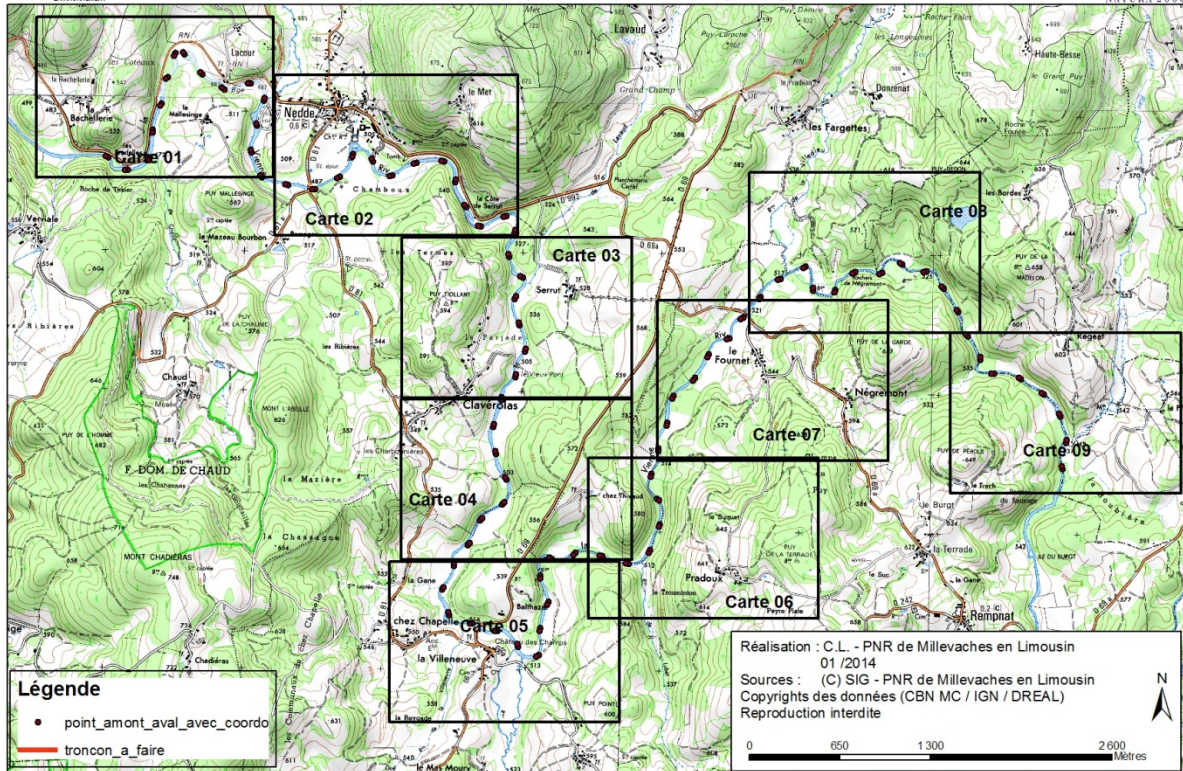


Figure n°4 : zone d'étude et échantillonnage aléatoire systématique (© LNE & PNR ML, 2014)

Document

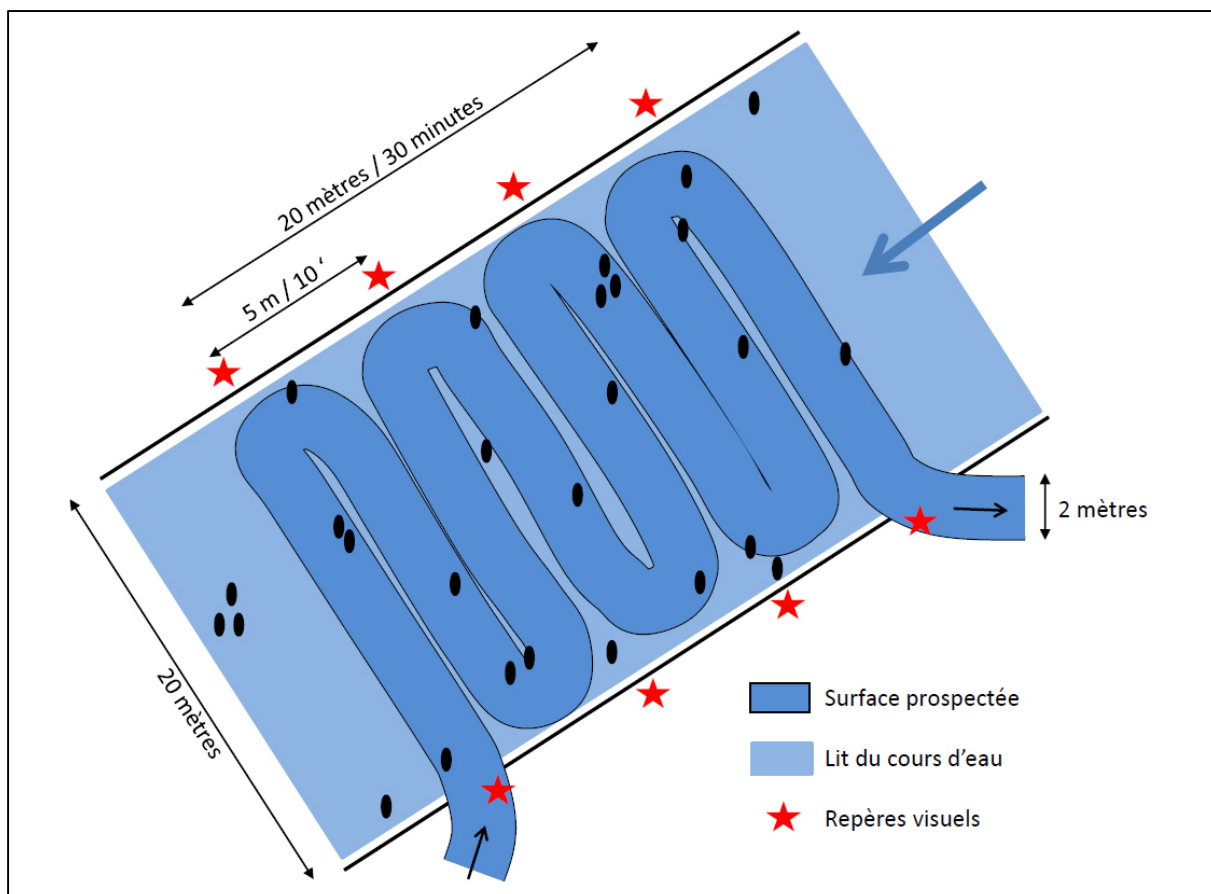


Figure n° 5 : protocole de prospection par site d'étude de 400 m² (LNE & PNR ML, 2014)

AIC = 1291.6		
Taux d'occupation apparent : 0.8039		
Abondance totale apparente : 321 (vivants)		
Taux d'occupation estimée (psi) : 0.9999		
Occupancy estimate (psi)	std.err	95% confidence interval
psi (site) : 0.9999	0.0000	0.9999 - 0.9999
Abondance totale estimée (N) : 2974 individus (vivants)		
Tot. Abund. estimate	95% confidence interval	
N (site) : 2974	455 – 14040	

Figure n° 6 : résultats de l'analyse par modèle d'abondance en mélange obtenu pour les individus vivants sous
© Presence (LNE & PNR ML, 2014)

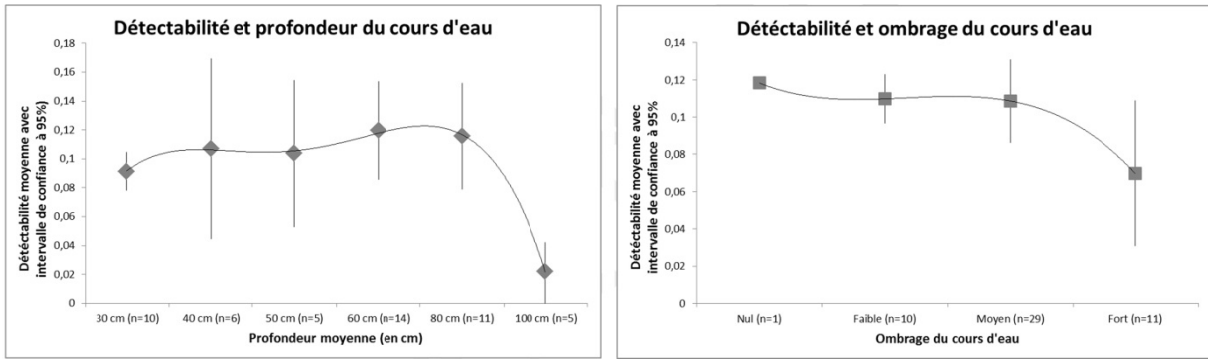


Figure n° 7 : effet de la profondeur (à gauche) et de l'ombrage (à droite) sur la détectabilité (LNE & PNR ML, 2014)

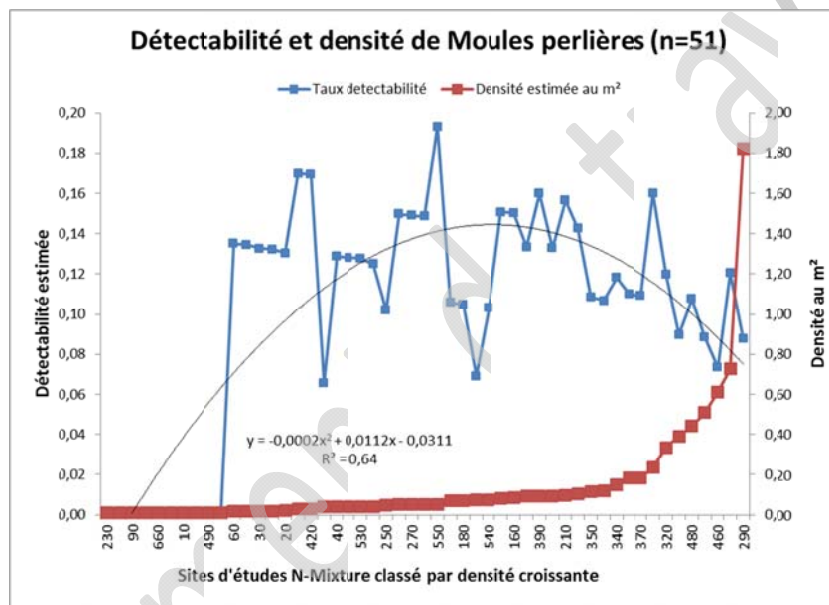


Figure n° 8 : corrélation entre détectabilité et densité de Moules perlières (n= 51) (LNE & PNR ML, 2014)

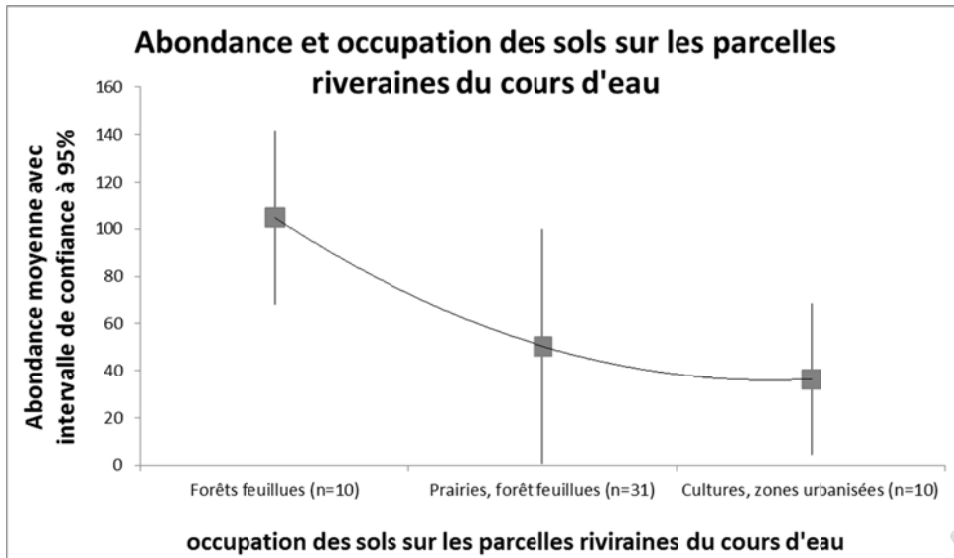


Figure n° 9 : effet de l'occupation des sols sur l'abondance de Moules perlières (LNE & PNR ML, 2014)

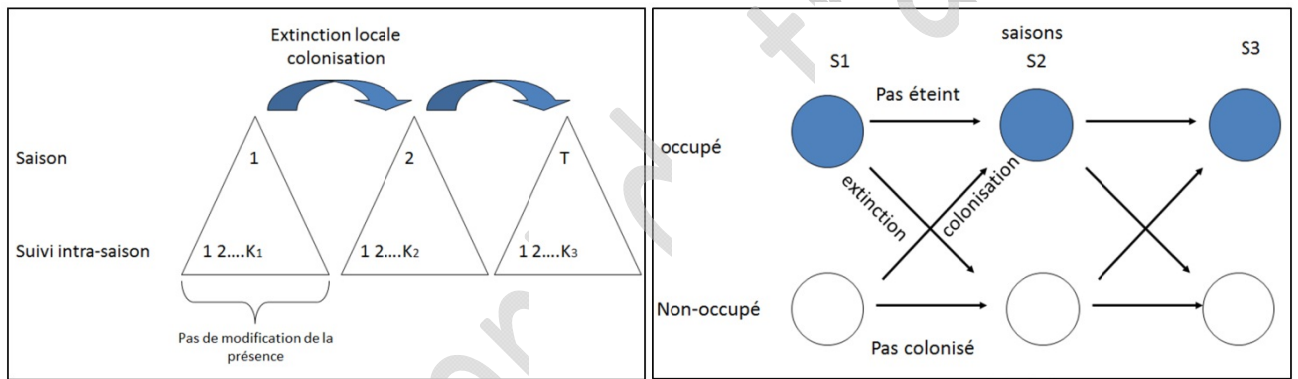


Figure n° 10 : modélisation du suivi et des phénomènes de colonisation/extinction inter saison (© BESNARD et SALLES, 2010)