
ANNEE UNIVERSITAIRE 2014/2015

RAPPORT DE STAGE
Option : Génie de l'Environnement

Quentin Millière

Échantillonnage par la méthode de Capture -
Marquage - Recapture sur trois populations de
mulette perlière de Bretagne

Lieu du stage : Bretagne Vivante
19 rue de Gouesnou
BP 62132
29221 Brest Cedex 2

Année universitaire
2014/2015

RAPPORT DE STAGE

Génie de l'environnement

Quentin Millière

**Échantillonnage par la méthode de
Capture – Marquage – Recapture sur
trois populations de mulette perlière
de Bretagne**



Remerciements à mes maîtres de stage Marie Capoulade et Pierre-Yves Pasco pour avoir pris de leur temps pour m'encadrer et pour m'avoir fait confiance et à mon professeur tuteur Michel Auffret pour m'avoir suivi lors de ce stage.

ABREVIATIONS

- CMR : Capture – Marquage – Recapture
- LIFE : L'instrument financier pour l'environnement

ANNEXES

- Annexe 1 : Plan complété du Loc'h secteur 2
- Annexe 2 : Plan complété du Loc'h secteur 3
- Annexe 3 : Plan complété du Loc'h secteur 4
- Annexe 4 : Plan complété de l'Elez secteur 1
- Annexe 5 : Plan complété de l'Elez secteur 2
- Annexe 6 : Plan complété du Bonne Chère secteur 1
- Annexe 7 : Plan complété du Bonne Chère secteur 3
- Annexe 8 : Plan complété du Bonne Chère secteur 4

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| I) INTRODUCTION..... | 1 |
| 1) Le programme LIFE..... | 1 |
| 2) Présentation de Bretagne Vivante..... | 1 |
| II) CONTEXTE..... | 2 |
| 1) La moule perlière d'eau douce..... | 2 |
| 2) Présentation des sites d'études..... | 4 |
| 3) Objectif du stage..... | 5 |
| 4) Les grands types de protocoles..... | 5 |
| III) MATERIEL ET METHODES..... | 9 |
| 1) Conditions préalables pour l'application de la technique CMR..... | 9 |
| 2) Protocole d'échantillonnage CMR..... | 9 |
| 3) Matériel..... | 11 |
| 4) Moyens mis en œuvre pour l'analyse des résultats..... | 12 |
| 5) Préparation des plans pour le marquage virtuel..... | 13 |
| IV) RESULTATS..... | 15 |
| 1) Les indices de Seber et de Bailey..... | 15 |
| 2) L'indice de Schnabel..... | 16 |
| 3) Les représentations graphiques..... | 17 |
| V) DISCUSSION..... | 19 |
| VI) CONCLUSION..... | 23 |
| VII) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 24 |
| VIII) ANNEXES..... | 25 |

I) INTRODUCTION

1) Le programme LIFE

Les projets LIFE sont des programmes de financement européen créés en 1992 dont l'objectif est de soutenir le développement et la mise en œuvre de la politique européenne de l'environnement et du développement durable. Les projets LIFE « Nature » se consacrent spécialement à la conservation de la faune, de la flore et de leurs habitats et sont développés au sein du réseau Natura 2000, lequel vise à rétablir les connexions entre les habitats naturels.

La moule perlière d'eau douce du Massif armoricain bénéficie d'un programme LIFE porté par Bretagne Vivante (1^{er} septembre 2010 - 31 août 2016) en Bretagne et en Basse-Normandie. Toutes les études réalisées auparavant montrent le même constat : la situation est urgente pour les mulettes de l'ouest de la France : disparition et non-renouvellement des populations. Le programme LIFE « Mulette » a ainsi pour but premier de mettre en culture l'espèce en voie de disparition dans le Massif armoricain et à maintenir voire développer les populations encore présentes dans les rivières.

Une station d'élevage est aujourd'hui fonctionnelle et permet de disposer d'individus de différentes classes d'âge dans le but de prévenir leur disparition du milieu naturel. Les acteurs et les gestionnaires des cours d'eau sont des alliés nécessaires réunis autour des démarches d'amélioration de la qualité des cours d'eau. Outre l'aspect de conservation de la mulette, le projet intervient aussi sur des aspects pédagogiques auprès du grand public (films, documents de sensibilisation et de communication, site Internet : www.life-moule-perliere.org/accueilmoule.php).

2) Présentation de Bretagne Vivante

Fondée en 1959, la Société pour l'Étude et la Protection de la Nature en Bretagne (SEPNB) a tout d'abord créé des réserves ornithologiques littorales. Son champ d'action s'est ensuite rapidement élargi à tous les problèmes de défense de l'environnement des cinq départements de la Bretagne historique. En 1968, l'association SEPNB est reconnue d'utilité publique et devient Bretagne Vivante – SEPNB en 1998.

Avec près de 3 000 adhérents, une soixantaine de salariés et de nombreux militants, l'association s'occupe aujourd'hui d'un réseau de plus de 100 espaces naturels protégés répartis sur le territoire de la Bretagne historique.



Figure 1 : Mulette perlière du Bonne Chère (Hervé Ronné, 2012)

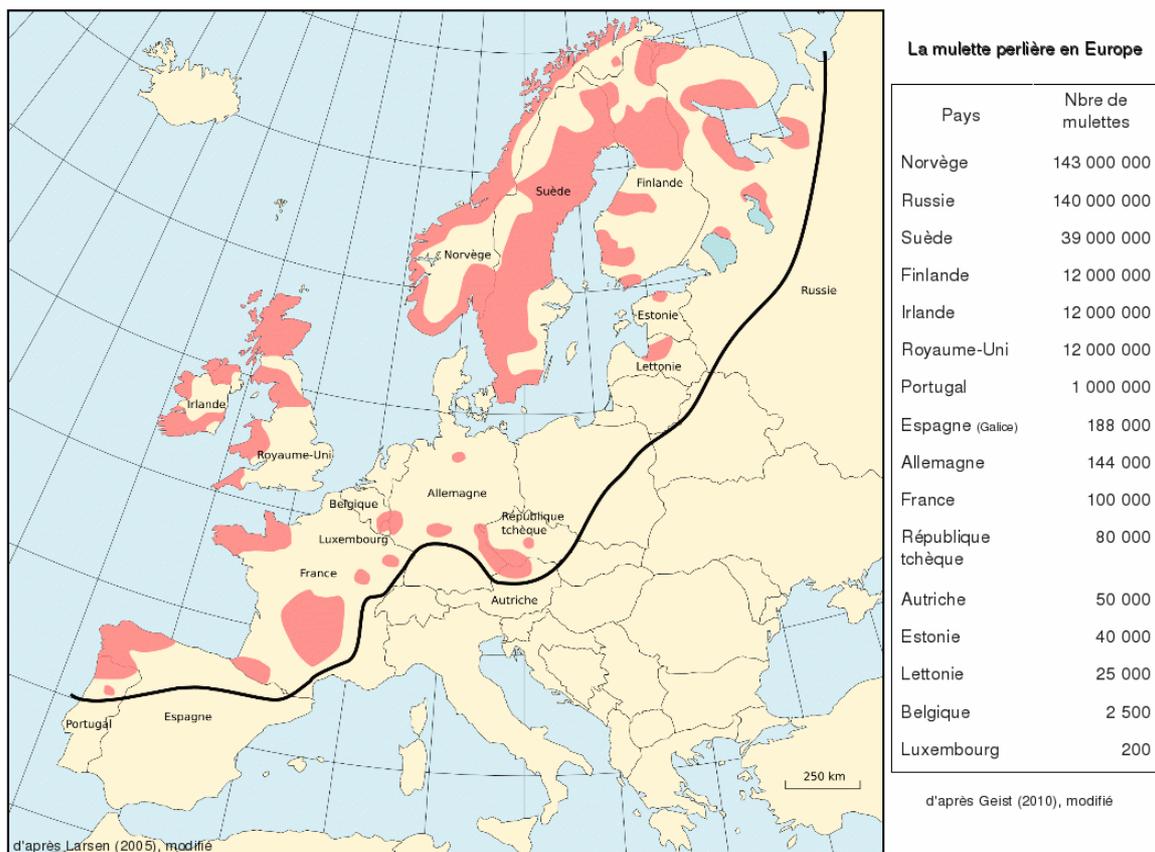


Figure 2 : Répartition européenne de la mulette perlière (d'après GEIST, 2010)

II) CONTEXTE

1) La moule perlière d'eau douce

La moule perlière d'eau douce (ou mulette perlière), *Margaritifera margaritifera*, est une espèce de bivalve (Figure 1) qui vit dans le lit des rivières des massifs anciens de l'Europe de l'Ouest, dont le Massif armoricain (Figure 2). Son cycle de vie complexe, ses exigences écologiques et sa grande longévité font d'elle une espèce « parapluie ». En la protégeant, on protège tout l'écosystème dans lequel elle se trouve.

La mulette perlière est un invertébré à forte longévité, entre 30 et 150 ans. Elle atteint sa maturité sexuelle à partir d'une dizaine d'années, quand sa taille excède environ 7 cm. En juin-juillet, les femelles récupèrent les spermatozoïdes relâchés dans l'eau par les mâles et les ovules sont ainsi fécondés (Figure 3). Quelques semaines après, les larves (entre 0,06 et 0,08 mm) appelées glochidies, sont libérées et se fixent sur les branchies d'un salmonidé (truite fario ou saumon atlantique). Peu de temps après, un kyste se forme autour de la larve. Ayant atteint un stade de développement suffisant, en mai-juin de l'année suivante, celle-ci se détache et s'enterre dans un substrat propre composé de sable ou de gravier où elle se développera. Elle mesure alors environ 0,4 mm. La vie benthique dure de 4 à 10 ans après quoi la mulette perlière apparaît à la surface du substrat. Les taux de mortalité sont élevés avant la maturité sexuelle : sur 1 million de glochidies produites, moins de 10 parviennent à devenir une moule adulte.

Hormis une exception en Irlande, toutes les rivières abritant la mulette perlière coulent sur des roches siliceuses (nos granites). La variété des habitats est grande tant qu'un peu de sédiment meuble les retient : rivière à fond sableux, gorges boisées, blocs rocheux, etc. La mulette vit à moitié enfouie dans le lit des rivières et filtre jusqu'à 50 litres d'eau par jour. Ainsi le courant doit être suffisant (entre 0,25 et 0,75 mètres par seconde) et la profondeur d'eau comprise entre 0,5 et 2 mètres. La présence de salmonidés (truite fario ou saumon atlantique) est elle aussi indispensable étant donné que les branchies de ces poissons-hôtes sont un passage obligé pour la larve de la mulette perlière durant son cycle de vie.

La mulette est très sensible à la qualité de l'eau et des sédiments, elle est donc une excellente indicatrice de la qualité des cours d'eau. D'autant plus que le sédiment dans lequel elle vit complètement enfouie durant ses premières années, doit lui aussi être d'une qualité irréprochable, suffisamment oxygéné pour permettre les échanges avec la surface.

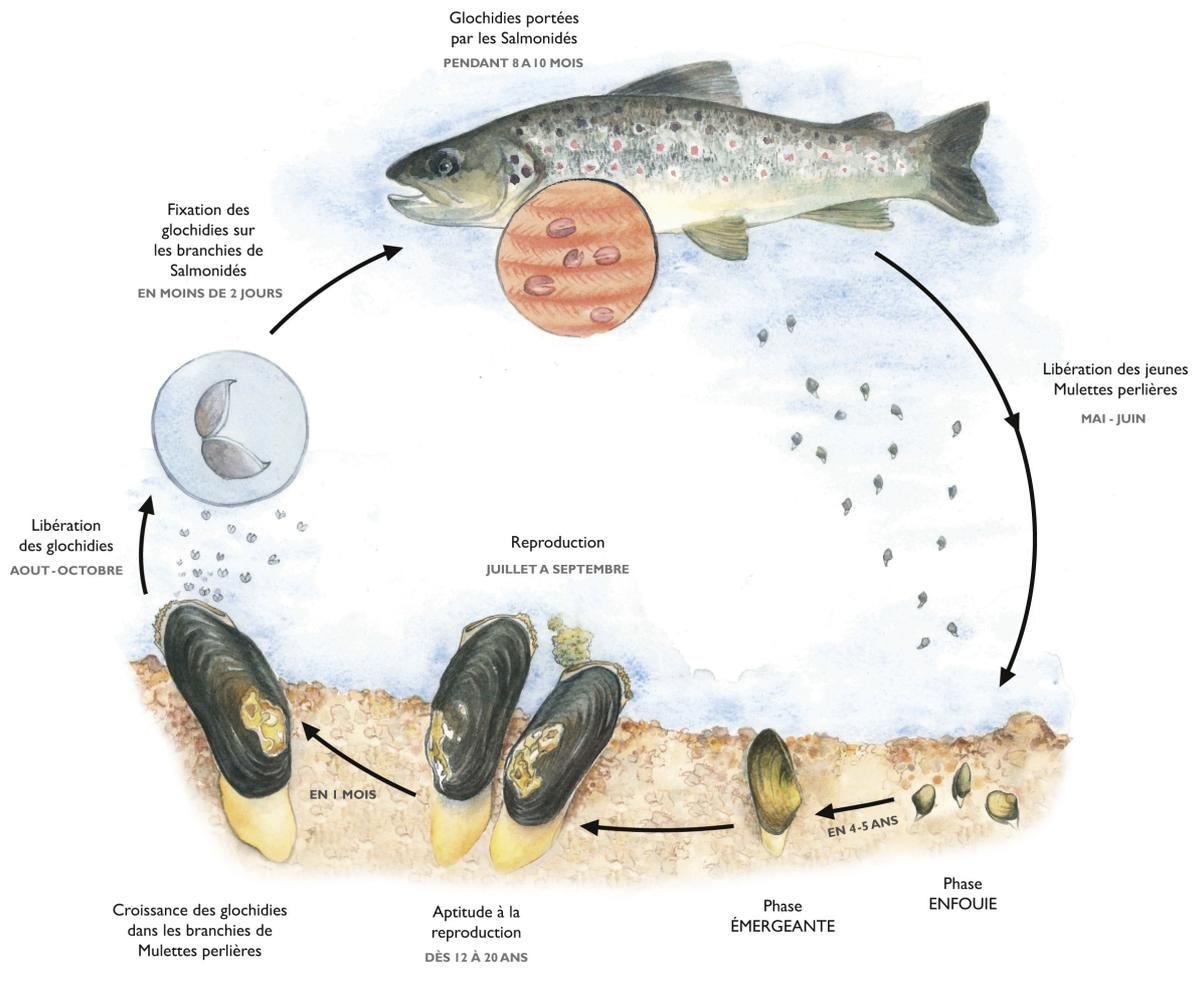


Figure 3: Cycle de vie de la mulette perlière (CPIE Collines Normandes, 2012)



Figure 4 : À gauche, perles pêchées sur l'Horn à Roscoff dans les années 1950 (Hervé Ronné, 2013). À droite, perles de mulette (Gilbert Cochet).

La moule perlière a disparu de beaucoup de nos cours d'eau à cause de la pollution des milieux naturels, de la diminution des populations de salmonidés, de la modification des rivières par l'Homme mais aussi à cause de la pêche pour sa perle (Figure 4). En effet, l'Homme a pêché cette espèce pour réaliser des parures à base de perles et nacre. Nombreux sont les bijoux qui en comportaient : la cote de François I^{er}, la parure de Marie Leszczyńska, fille du roi Stanislas I^{er} de Pologne, un collier de la reine Marie-Antoinette... Une robe de Marie de Médicis était ornée de 32 000 perles provenant de toute l'Europe. Une véritable frénésie s'est emparée de l'Europe à partir du XIX^e siècle, les lits de rivières étaient littéralement bêchés pour en retirer des milliers de coquilles ne donnant au mieux que quelques dizaines de perles. En Finistère, le dernier pêcheur de perles exerçait sur l'Odet, au début des années 1950. Aujourd'hui l'espèce est intégralement protégée par la loi.

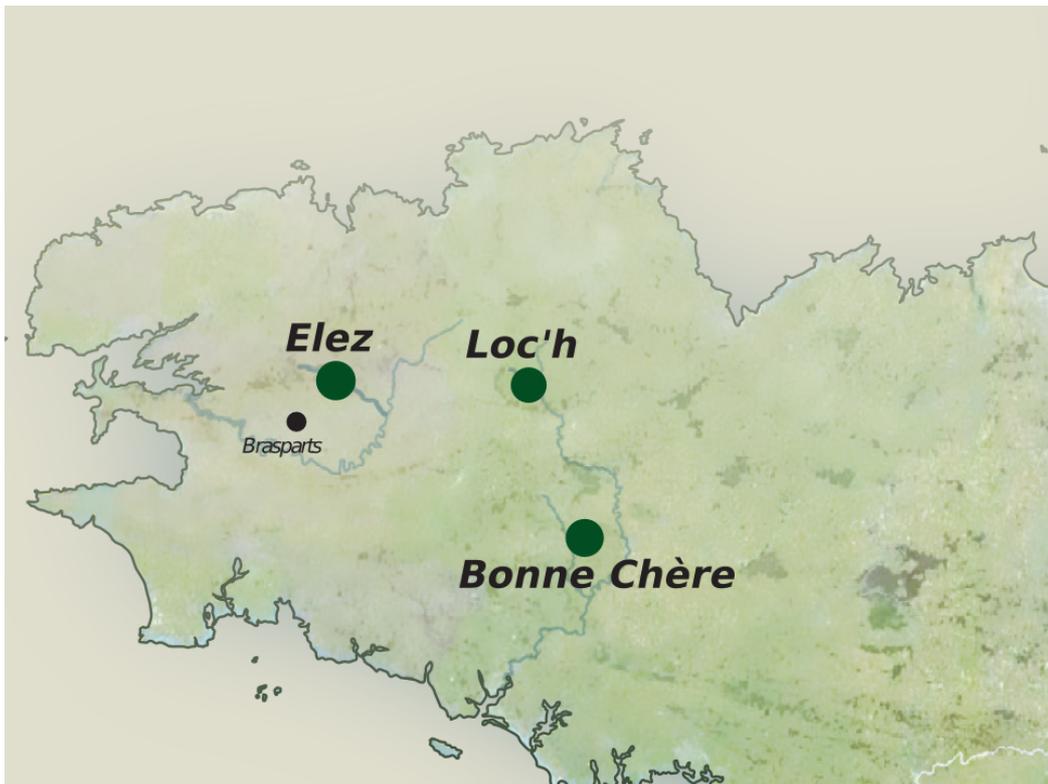


Figure 5 : Localisation des populations de moules étudiées (Bretagne Vivante)

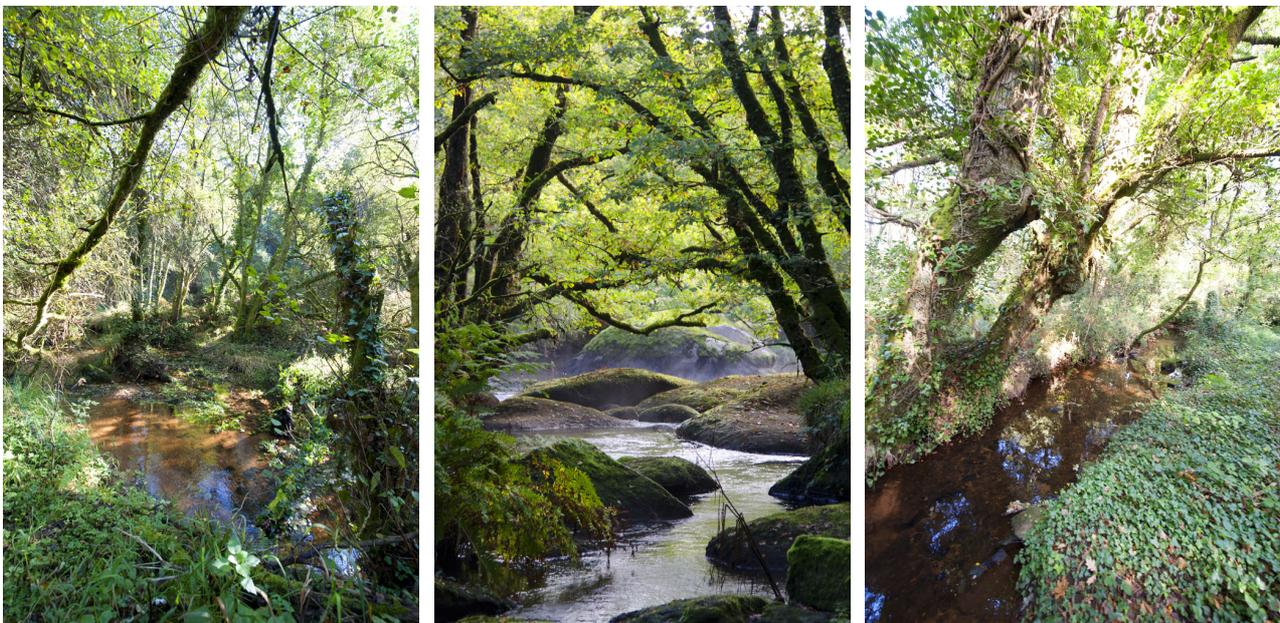


Figure 6 : Photographies des différents cours d'eau étudiés. De gauche à droite : Loc'h, Elez, Bonne Chère (Hervé Ronné)

2) Présentation des sites d'études

Le Loc'h

Le ruisseau de l'étang du Loc'h est inscrit au site Natura 2000 « têtes des bassins du Blavet et de l'Hyerès » (Côtes-d'Armor, Bretagne). Le nombre de moules perlières recensé était de 280 en 2011 et de 179 en 2014. L'absence de jeunes individus traduit le déclin de cette population. Un dysfonctionnement dans le cycle de vie de la moule est observé.

Des forêts d'épicéa bordent le cours d'eau sur de nombreuses parcelles provoquant la fermeture du milieu, l'acidification du sol, une pauvreté des apports nutritifs et contribuent à fragiliser les berges (aujourd'hui seulement un côté de la berge est toujours en plantation d'épicéa).

L'Elez

La rivière de l'Elez est inscrite au site Natura 2000 « Monts d'Arrée centre » (Finistère, Bretagne). En 1997, un comptage a montré que la population de moule de l'Elez comptait 2 000 individus. En 2004, il n'en reste plus que 500. Tous ont plus de 80 ans ce qui signifie qu'il y a une absence ou échec de recrutement depuis les années 1920. Le comptage le plus récent date de 2014 avec 1 200 individus dénombrés quasiment tous concentrés en une seule zone en amont de la queue d'étang de Saint-Herbot, au niveau d'un chaos rocheux.

La principale menace sur ce cours d'eau est le manque de poisson hôte. De plus, la population de moules se trouve sur un tronçon de rivière cloisonné par deux ouvrages hydrauliques depuis les années 1920. Suite à la sécheresse de 2003 et à une mauvaise gestion des niveaux d'eau, l'Elez s'est presque retrouvé à sec. La variabilité du débit est ainsi très importante mais se trouve régulée maintenant par un arrêté préfectoral.

Le Bonne Chère

La rivière de Bonne Chère est inscrite au site Natura 2000 « rivières du Scorff et de la Sarre, forêt de Pont-Calleck » (Morbihan, Bretagne). C'est actuellement le cours d'eau qui a la population la plus dense de Bretagne avec 2 313 individus recensés en 2014 avec des regroupements en « pavage ». Leur répartition semble liée à la présence de rives boisées et la densité maximale se trouve dans une portion assez courante. Des pêches électriques ont été réalisées et ont montré la présence de glochidies sur les branchies des truites. Le secteur choisi pour l'échantillonnage est certainement celui où la densité de moules est la plus forte.



Figure 7. Comptage exhaustif en palmes-masque-tuba (Bretagne Vivante)



Figure 8. Comptage exhaustif à l'aide d'un aquascope (Alexandre Lamoureux)

3) Objectif du stage

Les populations de mulettes perlières en Bretagne ont jusqu'à présent été dénombrées par comptages « exhaustifs », comptage visuel le plus exhaustif possible. Cette prospection est réalisée aux périodes de basses-eaux en remontant doucement la rivière et avec précaution (afin de ne pas marcher sur des mulettes). Ce comptage comporte deux techniques de prospection (selon la configuration du cours d'eau) : l'aquascope ou la plongée en palmes-masque-tuba (Figures 7 et 8). C'est une méthode qui a l'avantage d'être rapide, simple à mettre en place et avec un effort d'échantillonnage raisonnable. Elle néglige cependant une partie de l'effectif présent sur la zone prospectée. En effet, lors de ce type de comptage un seul passage est prévu. Ainsi, tous les individus enfouis ou non détectés par l'observateur ne sont pas comptabilisés. De plus, du fait d'un passage unique, cette technique ne permet pas d'évaluer la détectabilité ou encore de connaître les intervalles de confiance.

Ainsi, les comptages « exhaustifs » mis en place jusqu'à présent montrent des résultats très variables (tableau 1). S'ils donnent une idée de la taille de la population, les résultats d'une année sur l'autre ne sont en revanche pas comparables et utilisables pour juger de l'évolution de la population.

Tableau 1. Résultats des différents comptages « exhaustifs » de mulettes perlières

| Sites | Loc'h | | | Elez | | | Bonne Chère | | |
|--------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------------|-------|-------|
| | 2008 | 2011 | 2014 | 2004 | 2011 | 2014 | 2009 | 2011 | 2014 |
| Année | | | | | | | | | |
| Nombre de mulettes | 180 | 280 | 179 | 500 | 900 | 1 200 | 1000 | 1 900 | 2 313 |

L'objectif de ce stage est de comparer les résultats des comptages « exhaustifs » de 2014 avec la méthode dite de « Capture - Marquage - Recapture » (CMR) et de déterminer le nombre de passages nécessaires pour que la majorité de la population de mulettes soit observée.

Il existe en effet un certain nombre de techniques d'échantillonnage à notre disposition pour le comptage des moules d'eau douce.

4) Les grands types de protocoles

Les grands types de protocoles existants pour le recensement des populations de moules d'eau douce sont décrits dans ce chapitre (STRAYER & SMITH, 2003 ; PETILLON, 2013).

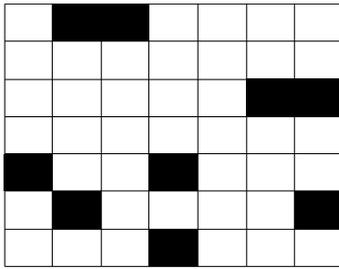


Figure 9 : Schéma d'un échantillonnage aléatoire simple

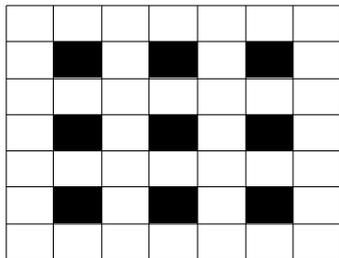


Figure 10 : Schéma d'un échantillonnage systématique

→ **Simple random sampling ou échantillonnage aléatoire simple :**

Avec cette technique, la zone d'intérêt (fond de la rivière, fond d'une zone d'un lac...) est divisée en unités, ou quadrats, de même dimension. Le nombre d'unités qui caractérise la zone est noté « N ». L'observateur choisit alors au hasard un nombre « n » d'unités où il relèvera le nombre de mulettes observées dans chaque unité. Afin de choisir les unités le plus au hasard possible, chaque quadrat peut être assigné à un couple de coordonnées « x;y ». Ainsi en choisissant deux nombres au hasard compris entre 1 et « N », un quadrat est sélectionné (Figure 9).

Avantages : Cette méthode propose des estimations impartiales de densité de mulette. Elle est simple et l'effort d'échantillonnage est raisonnable si la zone à étudier n'est pas excessive.

Inconvénients : C'est une technique très souvent inefficace car les mulettes sont fortement réparties à différentes échelles spatiales verticales (enfouissement) et horizontales. Les estimations de densité qui en résultent sont donc très imprécises (grand écart-type) car elles ne prennent pas en compte les mulettes enfouies. Ce problème de précision est particulièrement important pour les espèces rares (comme la mulette perlière).

→ **Systematic sampling ou échantillonnage systématique :**

Le principe de cette technique est le même que celui de l'échantillonnage simple aléatoire mis à part que les quadrats sont choisis de manière régulière. En effet, pour chaque série de quadrats, le premier est choisi au hasard mais les autres sont choisis avec un intervalle régulier entre eux (Figure 10).

Avantages : C'est une méthode simple qui permet une bonne couverture spatiale (notamment pour les grandes zones d'échantillonnage).

Inconvénients : Si la population présente une structure périodique (enfouissement ou déplacement régulier) et que la période de prélèvement est proche des variations du phénomène alors une importante erreur systématique peut être créée. De plus, il faut supposer que l'espèce à échantillonner est répartie aléatoirement sur la zone (ce qui n'est pas forcément le cas).

→ **Stratified Sampling ou échantillonnage stratifié :**

Cette technique est généralement utilisée lorsque la population cible est connue ou suspectée comme étant dense. La zone étudiée est divisée en strates qui sont définies au moyen d'une ou

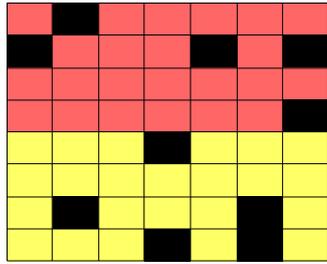


Figure 11 : Schéma d'un échantillonnage stratifié

plusieurs variables (densité de la population, profondeur de la rivière...). Les échantillons sont ainsi prélevés au hasard dans chaque strate, cependant il faut que le nombre d'échantillons par strate soit égal ou s'en rapprochant (Figure 11).

Avantages : Cette méthode réduit les erreurs d'échantillonnage et augmente la précision. Elle permet aussi de réduire l'effort d'échantillonnage.

Inconvénients : L'échantillonnage stratifié suppose des connaissances de terrain préalablement acquises (des mesures du site d'étude ou un comptage exhaustif de la population cible).

→ **Adaptive sampling ou échantillonnage adaptatif :**

Une autre façon de concentrer l'effort d'échantillonnage où les populations de moule sont les plus denses est d'utiliser la technique d'échantillonnage adaptatif. Dans cette méthode, les quadrats sont initialement disposés en utilisant une technique d'échantillonnage conventionnelle (c'est à dire simple aléatoire, systématique ou stratifié aléatoire).

Si la variable (par exemple la densité de mulettes) dans un quadrat ne respecte pas le critère fixé (un nombre de mulettes par quadrat par exemple), l'observateur avance dans son échantillonnage. Si la variable respecte le critère, l'enquêteur échantillonne alors toutes les unités d'échantillonnage adjacentes. Si n'importe laquelle de ces unités respecte le critère, les unités adjacentes sont échantillonnées et ce jusqu'à ce qu'aucune unité supplémentaire ne respecte le critère. Puis l'observateur retourne à l'unité d'échantillonnage principale suivante.

Avantages : L'effort d'échantillonnage est concentré sur des zones où la densité de la population cible est significative. Cette méthode apporte plus de précision que des techniques non-adaptatives pour le même effort et permet de relever des observations biologiques (taille, statut reproducteur) sur plus d'individus qu'avec une technique aléatoire simple.

Inconvénients : Il n'y a pour l'instant aucune justification théorique sur le choix d'une valeur du critère. De plus, si le critère n'est pas assez sélectif l'effort d'échantillonnage peut vite devenir excessif. Et enfin, les calculs pour évaluer la variance de l'estimation de la population sont assez complexes.

→ **Double sampling ou échantillonnage double :**

Cette technique consiste à faire un combiné de deux techniques de celles vu précédemment. En général, l'échantillonnage double est réalisé lorsque les informations de départ sont inconnues (par

exemple la densité globale de la population cible, si elle est présente à forte échelle ou non). On utilise couramment la technique du comptage exhaustif en premier lieu pour faire un repérage puis en fonction des résultats on utilise une technique plus précise (échantillonnage stratifié, systématique ou adaptatif...).

Avantages : Cette méthode apporte une précision supplémentaire puisque deux techniques sont utilisées. On peut dire que l'échantillonnage double est presque obligatoire si les caractéristiques du site d'étude ne sont pas connues (surtout le niveau de présence de la population cible), au risque d'utiliser la mauvaise technique.

Inconvénients : Cette méthode nécessite un effort d'échantillonnage et un travail à fournir plus important puisque deux échantillonnages avec deux techniques différentes sont à réaliser.

→ **Capture - Marquage - Recapture :**

La technique de « Capture - Marquage - Recapture » (CMR) est très utilisée en écologie mais a rarement été mise en œuvre pour évaluer des populations de moule. Avec cette technique, l'observateur attrape un certain nombre d'individus, les marque puis les relâche dans leur habitat.

Plus tard, la population cible est ré-échantillonnée et le nombre d'individus marqués et non marqués est enregistré. Le site entier d'étude peut être analysé afin de réaliser un échantillon représentatif ou le site d'étude peut être divisé en unités qui sont aléatoirement choisies.

Cette technique se divise en deux catégories :

- la recapture est effectuée alors que la population cible est statique, nommée « modèle à population fermée » ;
- la recapture est effectuée après que la population a connu une variation (par la naissance, la mort, l'immigration et l'émigration, le recrutement), nommée « modèle à population ouverte ».

Avantages : Cette méthode augmente considérablement la précision du comptage puisque plusieurs passages sont réalisés. Ainsi on peut déterminer un taux de détectabilité pour les différents passages mais aussi pour les différents observateurs (s' il y en a plusieurs).

Inconvénients : Cette technique demande plus de temps à réaliser que les autres techniques car plusieurs passages sont effectués. De plus, si l'on travaille avec le modèle à population fermée il faut supposer que les moules sont immobiles (c'est le cas en général sur des échantillonnages à courte durée, par exemple quelques jours ou même sur deux semaines). Si les différents passages

sont réalisés sur différents jours il faut essayer d'avoir à peu près les mêmes conditions climatiques (hauteur d'eau, luminosité...) au risque d'affecter le taux de détectabilité.

III) MATERIEL ET METHODES

1) Conditions préalables pour l'application de la technique CMR

Pour utiliser cette méthode, il faut réunir plusieurs conditions de base (LABORDE, 2013) qui devront être réunies dans le cadre de ce stage :

- population fermée (pas d'immigration ni d'émigration) : les épisodes de crues ne devraient pas avoir lieu durant cette période (mai-juin) qui pourraient entraîner des individus de l'amont vers les stations et des stations vers l'aval ;
- ni naissance, ni mortalité : sur 2 mois de suivi il est très peu probable d'avoir de très jeunes moules qui sortiraient du substrat pour commencer leur vie aquatique surtout sur des stations de tailles réduites ;
- pas de prédation : le principal prédateur de la moule connue en Bretagne est le rat musqué et est absent des cours d'eau prospectés ;
- équiprobabilité de capture des individus : comme il s'agit d'une même population, les moules ont à priori des comportements similaires ;
- marquage sans influence sur la probabilité de recapture : réalisant un marquage virtuel en notant la position des moules sur un plan de la station préalablement réalisé, les individus ne sont pas manipulés et la probabilité de « recapture » ne sera pas influencée.

2) Protocole d'échantillonnage CMR

Marquage virtuel

- La technique employée est appelée technique de marquage virtuel. Il s'agit de noter la position géographique des moules perlières sur un plan très détaillé du secteur préalablement réalisé.
- Les secteurs du cours d'eau sont choisis (deux secteurs de radier et deux secteurs de plat courant/plat lent) et sont échantillonnés par deux observateurs chacun leur tour (Quentin Millière et Pierre-Yves Pasco) pendant une durée similaire, fixée ici à 40 minutes.

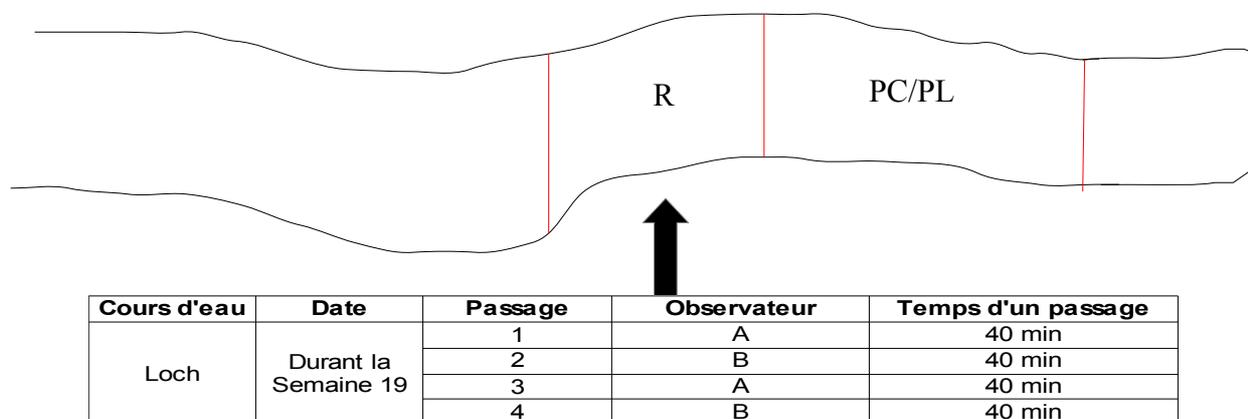


Figure 12 : Exemple de mise en place du protocole d'échantillonnage sur un secteur « radier » du ruisseau de l'étang du Loc'h
(R : radier ; PC : plat courant ; PL : plat lent)

- Le nombre de secteurs est de 4 par cours d'eau, le nombre de passages est d'au moins 2 par secteur (et plus si nous avons le temps). Tous les comptages d'un même passage (ou au moins les 2 nécessaires) d'un même cours d'eau seront effectués le même jour (ce qui nous permet d'avoir des conditions météorologiques et hydrologiques similaires et d'avoir un déplacement très minime voire quasiment nul des mulettes). Cependant, les passages (au-delà du deuxième) pourront être effectués un autre jour (la semaine suivante par exemple), cela dépendra essentiellement du temps disponible.

Conditions préalables

- Il est nécessaire de réaliser au préalable les plans détaillés des différents secteurs choisis, ce qui implique des sorties sur le terrain pour réaliser les mesures (le protocole est détaillé au point n°5 de ce chapitre « Matériel et méthodes »).
- Il faut considérer que les mulettes perlières ne bougent pas afin de pouvoir les placer correctement sur le plan à chaque passage (avantage de l'échantillonnage en un jour). Cette hypothèse se révèle assez juste car le mouvement des moules est très limité voire quasiment inexistant (excepté lors des épisodes de crues ou de très fort mouvement d'eau).

Conditions de réalisation

- Le temps de prospection d'un secteur doit être le même entre les différents observateurs et entre les différents secteurs.
- Les passages sur un même secteur ne doivent pas être réalisés de manière successive. En effet la mémoire de l'observateur lui rappellera globalement la position des moules échantillonnées précédemment, ce qui faussera le résultat final. Il faut donc réaliser le premier passage sur les deux, trois ou quatre tronçons puis le second passage sur les deux, trois ou quatre tronçons et ainsi de suite, afin d'éviter au mieux cet effet de localisation par la mémoire.

Un exemple de mise en place du protocole se trouve schématisé en Figure 12.

Remarques

- Le nombre de secteurs sur l'Elez n'est pas de quatre mais de deux (un radier et un plat lent). L'Elez est une rivière particulière qui a été modifiée par l'Homme (construction de moulins) et est

Tableau 2 : Planning des différents passages sur les secteurs

| Cours d'eau | Secteurs | Nombre de Passages | Date |
|--------------------|----------|--------------------|---|
| Loc'h | 1 | 4 | 2 le 21/05/15 2 le 05/06/15 |
| | 2 | 4 | 2 le 29/05/15 2 le 05/06/15 |
| | 3 | 4 | 2 le 21/05/15 2 le 05/06/15 |
| | 4 | 2 | 05/06/15 |
| Elez | 1 | 2 | 22/05/15 |
| | 2 | 4 | 2 le 22/05/15 2 le 08/06/15 |
| Bonne Chère | 1 | 2 | 1 le 27/05/15 1 le 28/05/15 |
| | 2 | | |
| | 3 | 4 | 1 le 27/05/15 1 le 28/05/15 2 le 04/06/15 |
| | 4 | 3 | 1 le 28/05/15 2 le 04/06/15 |



Figure 13 : Prospection à l'aquascope sur le secteur 4 du Bonne Chère (Bretagne Vivante)

très « hachée » par les nombreux blocs de granites présents dans le lit du cours d'eau. Ainsi il n'y a pas beaucoup de secteurs bien définis au niveau du faciès d'écoulement et comprenant une certaine densité de mulettes.

De plus, nous avons décidé de fixer le temps de prospection du secteur 2 (plat lent) à 60 minutes au lieu de 40 à cause de sa surface qui est plus importante que celles des autres secteurs.

- En pratique, le planning fixé n'a pu être respecté notamment à cause des niveaux d'eau qui ont été particulièrement hauts pour la saison. Ainsi, dès qu'une fenêtre météo s'ouvrait à nous, nous choissions un ou plusieurs secteur(s) d'un cours d'eau essentiellement en fonction de la quantité d'eau tombée. Le nombre de passage a ainsi été réduit et tous les secteurs n'ont pas pu bénéficier de 4 passages.

Le planning des différents passages prévus sur chaque secteur de chaque cours d'eau est indiqué dans le Tableau 2.

3) Matériel

- Aquascope ;
- Lampes ;
- Paire de wadders ou cuissardes ;
- Plans détaillés des différents secteurs ;
- Chronomètre ;
- Matériel pour écrire (stylo, support, feuilles) ;
- Pochettes plastiques ;
- Appareils de mesure (décamètre, télémètre laser, réglette graduée) ;
- Repères pour certains secteurs (scotch gris) ;
- Appareil photo ;
- Logiciel Inkscape (logiciel de dessin vectoriel).

Binomial 95% Confidence Limits

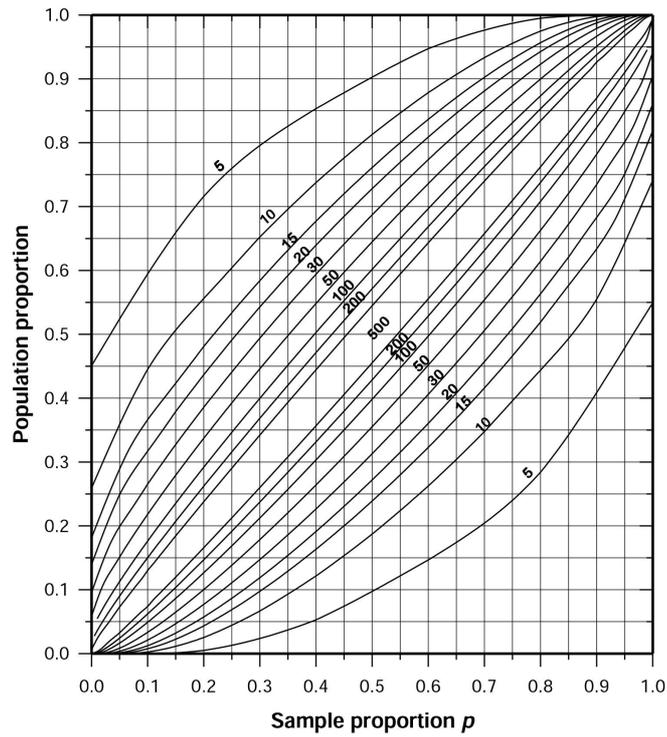


Figure 14 : Graphique intervalle de confiance à 95 %
(KREBS, 1999)

| x | 95% | | 99% | |
|----|-------|--------|-------|--------|
| | Lower | Upper | Lower | Upper |
| 0 | 0 | 3.285 | 0 | 4.771 |
| 1 | 0.051 | 5.323 | 0.010 | 6.914 |
| 2 | 0.355 | 6.686 | 0.149 | 8.727 |
| 3 | 0.818 | 8.102 | 0.436 | 10.473 |
| 4 | 1.366 | 9.598 | 0.823 | 12.347 |
| 5 | 1.970 | 11.177 | 1.279 | 13.793 |
| 6 | 2.613 | 12.817 | 1.785 | 15.277 |
| 7 | 3.285 | 13.765 | 2.330 | 16.801 |
| 8 | 3.285 | 14.921 | 2.906 | 18.362 |
| 9 | 4.460 | 16.768 | 3.507 | 19.462 |
| 10 | 5.323 | 17.633 | 4.130 | 20.676 |

Figure 15 : Table de la loi de Poisson
(KREBS, 1999)

4) Moyens mis en œuvre pour l'analyse des résultats

Pour obtenir les estimateurs de population, l'utilisation d'indices est nécessaire. Les formules suivantes ont été utilisées :

- **Indice de Seber** :
$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{(R+1)} - 1$$

Avec M : nombre de mulettes comptées au 1^{er} passage ;

C : nombre de mulettes comptées au 2^e passage ;

R : nombre de mulettes observées en commun.

Cet indice permet d'avoir une estimation de la population pour deux passages.

- **Indice de Bailey** :
$$N = \frac{C*(M+1)}{(R+1)}$$

Avec M : nombre de mulettes comptées au 1^{er} passage ;

C : nombre de mulettes comptées au 2^e passage ;

R : nombre de mulettes observées en commun.

Cet indice permet d'avoir une estimation de la population pour deux passages. Il est destiné aux petits échantillons. Nous l'avons aussi utilisé car aucune limite n'est donnée pour définir un « petit échantillon ».

Intervalle de confiance :

L'intervalle de confiance est calculé à l'aide du graphique « Binomial 95 % Confidence Limits » (Figure 14) (KREBS, 1999).

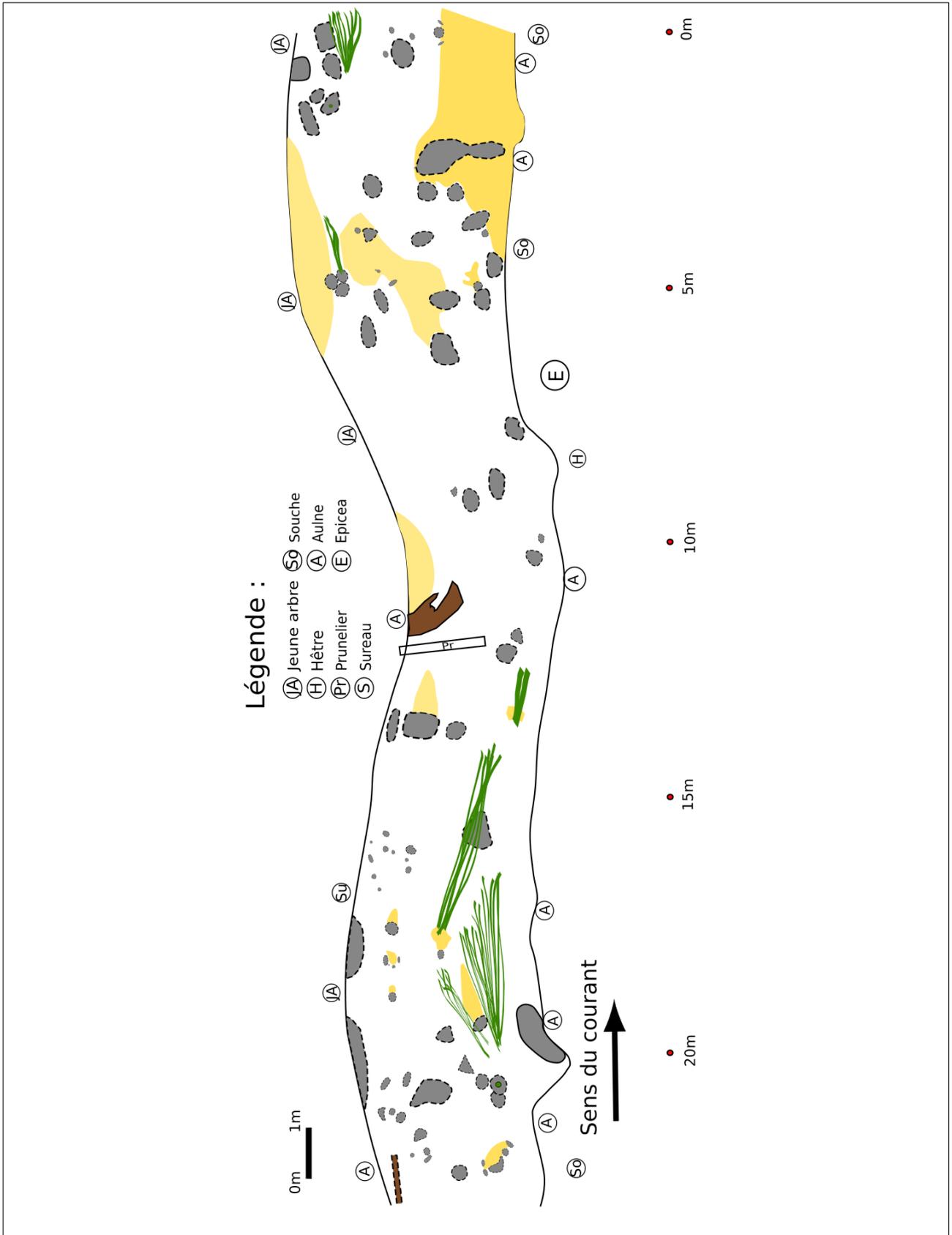


Figure 16 : Plan vierge réalisé sous Inkscape (Loc'h secteur 1)

- **Indice de Schnabel** :
$$N = \frac{\sum (C_t M_t)}{\sum R_t + 1}$$

Avec M : nombre d'individus déjà marqués avant le passage t ;

C : nombre d'individus total capturés lors du passage t ;

R : nombre d'individus capturés déjà marqués lors du passage t.

Cet indice permet d'avoir une estimation de la population à partir de 3 passages.

Intervalle de confiance :

Il se calcule à l'aide de la table de Poisson, au nombre d'individus estimés sont associées deux limites qui déterminent les bornes de l'intervalle (voir Figure 15).

5) Préparation des plans pour le marquage virtuel

Le marquage virtuel consiste, lors de la prospection d'un secteur, à relever la position de la mulette et de la noter sur un plan du secteur à l'échelle. Pour cela il faut préalablement réaliser le plan du secteur à l'aide d'appareils de mesure de distance (décamètre, télémètre laser, règle graduée).

Avec ces appareils les mesures suivantes ont été réalisées :

- la longueur du secteur (décamètre) ;
- la largeur mouillée (qui était quasiment égale à la largeur plein bord du au niveau d'eau qui était élevé lors des mesures) tous les 5 mètres (télémètre laser) ;
- la profondeur avec 3 mesures (rive gauche, milieu, rive droite) tous les 5 mètres ;
- la position et la taille d'éléments remarquables (pierres, troncs dans le cours d'eau, bancs de sable, algues, arbres sur la berge) afin d'avoir le plus de repères possible.

La réalisation des plans a été faite dans ce ordre :

- première sortie sur le terrain pour tracer la forme du cours d'eau, prendre les mesures de longueur, de largeur, prendre les repères sur les berges (nature et position des arbres) ;
- deuxième sortie pour positionner les éléments remarquables dans le cours d'eau, prendre les mesures de profondeur ;
- mise au propre grâce au logiciel **Inkscape** (Figure 16).

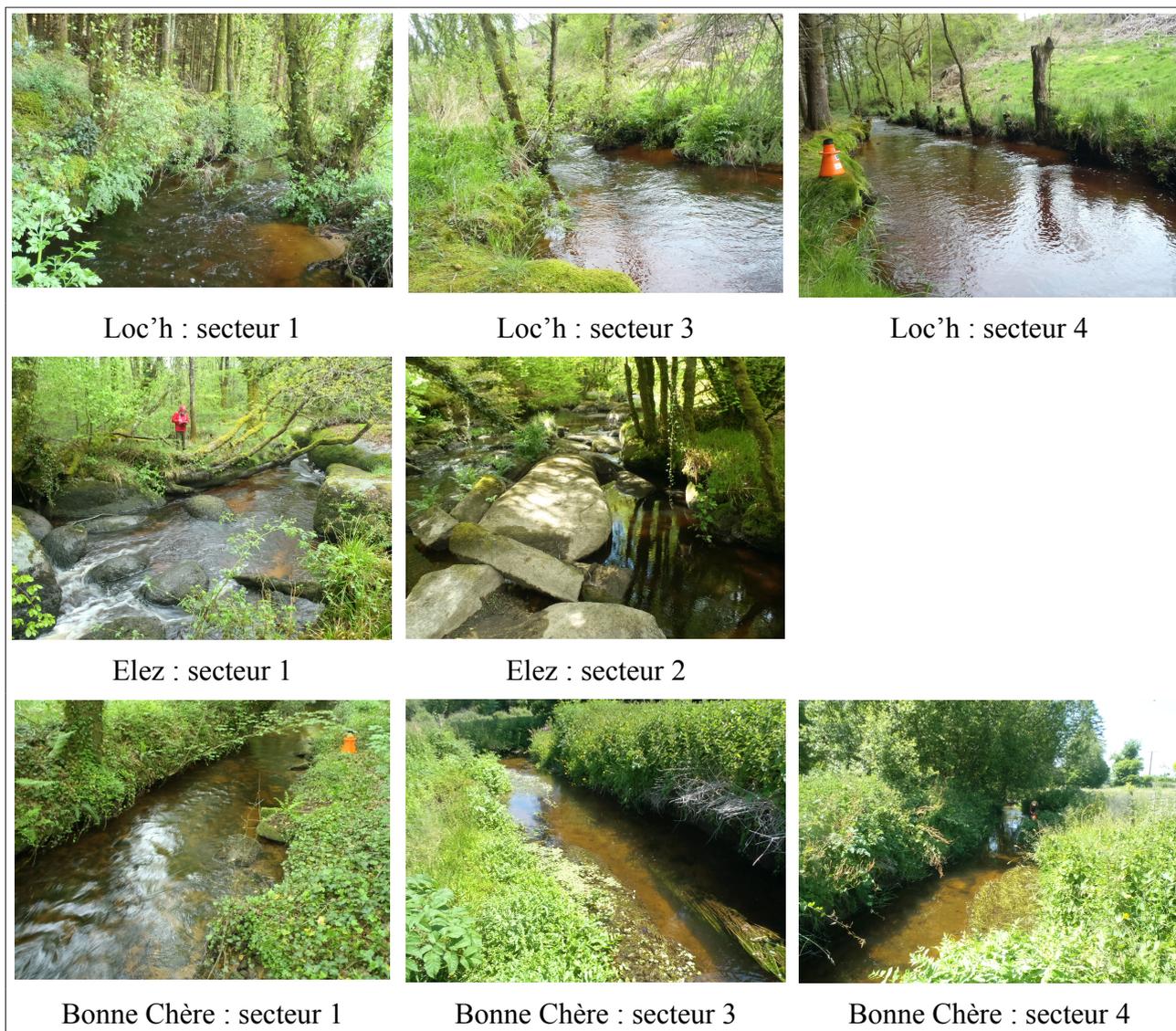


Figure 17 : Photos des différents secteurs choisis

Tableau 4 : Moyenne des paramètres physico-chimiques des trois cours d'eau (\pm écart-type)

| Rivière | Date | O ₂ dissous (mg/L) | Saturation en O ₂ dissous (%) | Conductivité à 25°C | pH | Nitrates (mg/L) | OrthoPO (mg/L) |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|--|---------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| Loc'h | 17/01/2011 au 18/05/2015 | 10,6 \pm 1,57 | 96,5 \pm 13,9 | 129 \pm 21,0 | 6,85 \pm 0,357 | 11,8 \pm 3,73 | 0,0705 \pm 0,0204 |
| Elez | 17/01/2011 au 19/05/2015 | 10,7 \pm 1,89 | 100 \pm 15,2 | 69,9 \pm 18,2 | 6,17 \pm 0,483 | 2,67 \pm 1,11 | < 0,05 |
| Bonne Chère | 17/01/2011 au 19/05/2015 | 10,5 \pm 1,75 | 96,2 \pm 14,8 | 155 \pm 25,2 | 6,65 \pm 0,321 | 22,6 \pm 4,33 | 0,108 \pm 0,0583 |

Remarque :

Toutes les mesures auraient pu être réalisées en une seule sortie si le niveau d'eau n'avait pas été si haut. En effet, la première fois il nous était impossible de distinguer les éléments présents dans le lit de la rivière. De plus, les mesures de profondeur auraient été faussées puisque le niveau d'eau a considérablement baissé durant les semaines suivantes.

Présentation des secteurs :

Les différents secteurs étudiés se trouvent illustrés sur la Figure 17. Les Tableaux 3 et 4 listent les principales caractéristiques de ces secteurs.

Tableau 3 : Principales caractéristiques morphologique des secteurs étudiés

| Cours d'eau | Secteur | Faciès D'écoulement | Longueur (m) | Largeur Moyenne (m) | Surface Moyenne (m ²) | Granulométrie Dominante | Profondeur Moyenne (cm) | Commentaires |
|-------------|---------|---------------------|--------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| Loc'h | 1 | Radier | 23 | 3,8 | 87,4 | Pierre fine | 20 | Secteur courant Pierres fines recouvertes de mousse |
| | 2 | Plat courant | 23 | 3,6 | 82,8 | Sable | 40 | Substrat de type sable avec Pierres grossières |
| | 3 | Radier | 27 | 3,2 | 86,4 | Pierre grossière | 30 | Présence non négligeable de sable Renoncules en amont du secteur |
| | 4 | Plat courant | 23 | 4,4 | 101,2 | Sable | 30 | Plus large que les autres secteurs Pierres réparties de façon assez Homogène |
| Elez | 1 | Radier | 10 | 4,5 | 45 | Pierre fine/ Gravier grossier | 30 | Présence de gros blocs |
| | 2 | Plat lent | 27 | 4,3 | 116,1 | Bloc | 60 | Présence importante de mousse |
| Bonne Chère | 1 | Radier | 20 | 2,8 | 56 | Pierre fine | 25 | Secteur courant Pierres fines recouvertes de mousse |
| | 2 | Radier | 20 | 3,6 | 72 | Pierre fine | 30 | Secteur non prospecté |
| | 3 | Plat lent | 20 | 2,9 | 58 | Sable | 45 | Présence importante de renoncules Dépôt important de vase en sous-berge |
| | 4 | Plat lent | 20 | 2,9 | 58 | Sable | 30 | Présence importante de renoncules Dépôt important de vase en sous-berge |

Le Tableau 4 présente les moyennes de mesures mensuelles de plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau des rivières des trois sites d'études depuis Janvier 2011 réalisées par Bretagne Vivante.

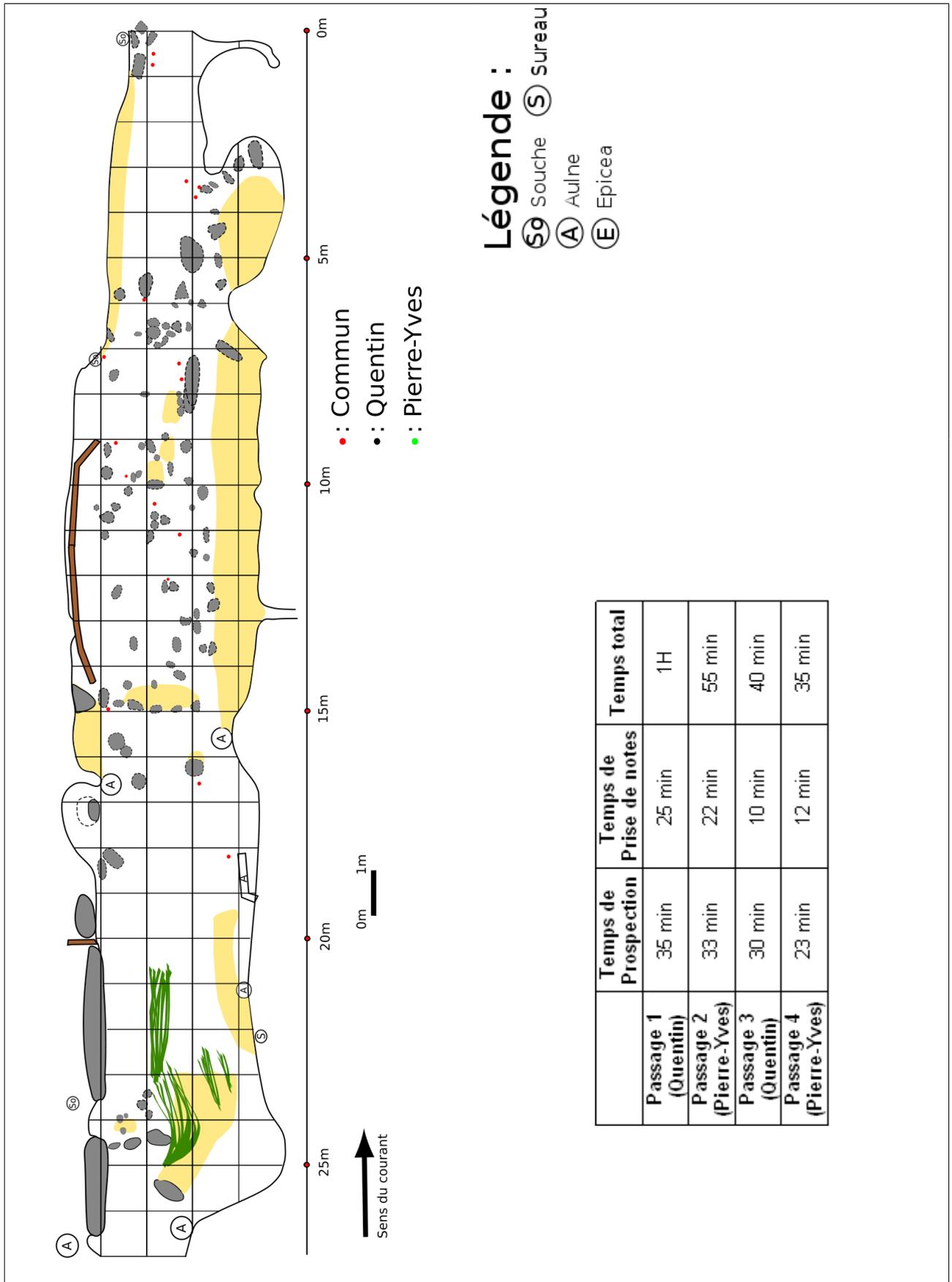


Figure 18 : Plan complété du secteur 3 du Loc'h

IV) RESULTATS

Après avoir réalisé tous les passages, la position des mulettes vues par les deux observateurs et celles vu uniquement par l'un et pas par l'autre peuvent être mises au propre grâce au logiciel **Inkscape**.

La Figure 18 donne un exemple d'un plan mis au propre après les sorties sur le terrain. Les autres plans se trouvent en annexe.

Grâce à ces plans, les données numériques ont pu être mises en évidence dans les tableaux suivants. Les données ont été séparées en deux en fonction du nombre de passages. D'un côté, les résultats calculés pour 2 passages uniquement, avec l'indice de Seber et l'indice de Bailey (Tableau 5) et de l'autre les résultats calculés pour 3 passages ou plus, avec l'indice de Schnabel (Tableau 6).

1) Les indices de Seber et de Bailey

Les indices de Seber et de Bailey permettent d'estimer les effectifs sur la base de deux passages (Tableau 5), avec M : nombre de mulettes comptées au 1^{er} passage ; C : nombre de mulettes comptées au 2^e passage ; R : nombre de mulettes observées en commun.

Tableau 5 : Résultats des comptages réalisés lors des différents passages, calculés avec l'indice de Seber et l'indice de Bailey pour 2 passages

| Cours d'eau | Loc'h | | | | Elez | | Bonne Chère | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| Secteur | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| Surface du secteur (m ²) | 87,4 | 82,8 | 86,4 | 101,2 | 45 | 116,1 | 56 | 58 | 58 |
| M (nombre de mulettes Comptées au 1 ^{er} Passage) | 13 | 10 | 17 | 16 | 105 | 22 | 188 | 6 | 16 |
| C (nombre de mulettes Comptées au 2 ^e me Passage) | 16 | 11 | 14 | 18 | 96 | 27 | 226 | 5 | 13 |
| R (nombre de mulettes En commun) | 8 | 6 | 14 | 16 | 86 | 13 | 123 | 2 | 5 |
| Indice de Seber | 25 | 18 | 17 | 18 | 117 | 45 | 345 | 13 | 39 |
| Indice de Bailey | 25 | 17 | 17 | 17,9 | 117 | 44 | 344 | 12 | 38 |
| Densité (Indice de Seber) Ind/m ² | 0,29 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 2,6 | 0,39 | 6,2 | 0,22 | 0,67 |
| Densité (Indice de Bailey) Ind/m ² | 0,28 | 0,21 | 0,20 | 0,18 | 2,6 | 0,38 | 6,1 | 0,21 | 0,64 |
| Intervalle de Confiance 95 % | [17 ; 52] | [12 ; 43] | [17 ; 21] | [16 ; 24] | [109 ; 128] | [31 ; 79] | [313 ; 392] | [7 ; 120] | [24 ; 94] |
| Detectabilité 1 ^{er} passage | 0,51 | 0,56 | 1,0 | 0,89 | 0,90 | 0,49 | 0,54 | 0,46 | 0,41 |
| Detectabilité 2 ^e me passage | 0,63 | 0,62 | 0,82 | 1,0 | 0,82 | 0,60 | 0,66 | 0,38 | 0,33 |

Tableau 6 : Données calculées avec l'indice de Schnabel pour 3 passages ou plus (Avec M : nombre d'individus déjà marqués avant le passage t ; C : nombre d'individus total capturés lors du passage t ; R : nombre d'individus capturés déjà marqués lors du passage t)

| Bonne Chère secteur 3 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 6 | 0 | 10 | [5 ; 18] | 0,60 |
| 2^{eme} Passage | 6 | 5 | 2 | | | 0,50 |
| 3^{eme} Passage | 9 | 6 | 5 | | | 0,60 |
| 4^{eme} Passage | 10 | 7 | 7 | | | 0,70 |

| Bonne Chère secteur 4 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 16 | 0 | 26 | [17 ; 38] | 0,62 |
| 2^{eme} Passage | 16 | 13 | 6 | | | 0,50 |
| 3^{eme} Passage | 23 | 20 | 19 | | | 0,77 |

| Loch secteur 1 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 16 | 0 | 23 | [15 ; 34] | 0,70 |
| 2^{eme} Passage | 16 | 13 | 8 | | | 0,57 |
| 3^{eme} Passage | 21 | 14 | 14 | | | 0,61 |
| 4^{eme} Passage | 21 | 17 | 15 | | | 0,74 |

| Loch secteur 2 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 10 | 0 | 16 | [10 ; 25] | 0,63 |
| 2^{eme} Passage | 10 | 11 | 6 | | | 0,69 |
| 3^{eme} Passage | 15 | 11 | 11 | | | 0,69 |
| 4^{eme} Passage | 15 | 12 | 11 | | | 0,75 |

| Elez secteur 2 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 22 | 0 | 46 | [34 ; 60] | 0,48 |
| 2^{eme} Passage | 22 | 27 | 13 | | | 0,59 |
| 3^{eme} Passage | 36 | 28 | 21 | | | 0,61 |
| 4^{eme} Passage | 43 | 30 | 28 | | | 0,65 |

| Loch secteur 3 | | | | | | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| | M | C | R | Indice de Schnabel | Intervalle de Confiance 95 % | Detectabilité |
| 1^{er} Passage | 0 | 17 | 0 | 17 | [10 ; 26] | 1 |
| 2^{eme} Passage | 17 | 14 | 14 | | | 0,82 |
| 3^{eme} Passage | 17 | 14 | 14 | | | 0,82 |
| 4^{eme} Passage | 17 | 14 | 14 | | | 0,82 |

Un exemple du calcul des estimateurs de population est présenté ci-dessous pour le secteur 2 du ruisseau de l'étang du Loc'h.

Indice de Seber
$$N = \frac{(M+1)(C+1)}{(R+1)} - 1 \quad N = (10+1)*(11+1)/(6+1) - 1 = 18$$

L'estimateur de Seber est donc à 18 mulettes.

Indice de Bailey
$$N = \frac{C*(M+1)}{(R+1)} \quad N = 11*(10+1)/(6+1) = 17$$

L'estimateur de Bailey est donc à 17 mulettes.

L'intervalle de confiance se calcule de la même façon pour les deux indices, il faut calculer le rapport R/C et utiliser le graphique « Binomial 95 % Confidence Limits » (Figure 14). Ce graphique se lit de la manière suivante :

Le rapport R/C correspond à la valeur de l'abscisse. En prenant l'intersection de cette valeur et de la valeur de C (nombre de mulettes comptées au deuxième passage) qui correspond aux courbes, la valeur reportée sur l'axe des ordonnées correspond à la borne inférieure de l'intervalle.

La manipulation est répétée pour la borne maximale avec la partie haute du graphique.

2) L'indice de Schnabel

L'estimateur de la population est calculé à l'aide de l'indice de Schnabel (Tableau 6). Un exemple pour le secteur 2 du ruisseau de l'Anglet du Loc'h est présenté ci-dessous.

$$N = \frac{\sum (C_t M_t)}{\sum R_t + 1} \quad N = (10*0) + (11*10) + (11*15) + (12*15) / (0+6+11+11+1) = 16$$

L'estimateur de Schnabel donne donc 16 mulettes.

L'intervalle de confiance est calculée par la table de Poisson. L'indice donné correspond à « x » dans la table ainsi deux valeurs sont données à 95 %, il s'agit des bornes de l'intervalle.

La détectabilité correspond au rapport du nombre de mulettes vues par l'observateur sur la valeur de l'estimateur, il peut être calculé à chaque passage (avec Ct : nombre d'individus total capturés lors du passage t ; I : indice calculé).

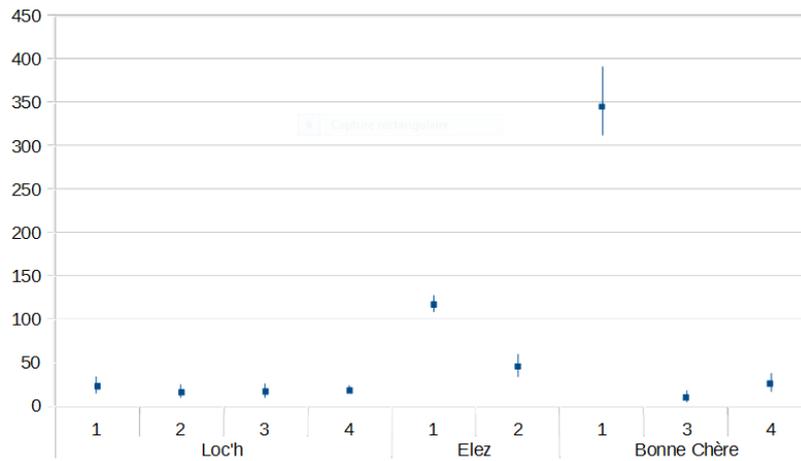


Figure 19: Estimation du nombre de mulettes des secteurs des trois cours d'eau (\pm intervalle de confiance à 95 %)

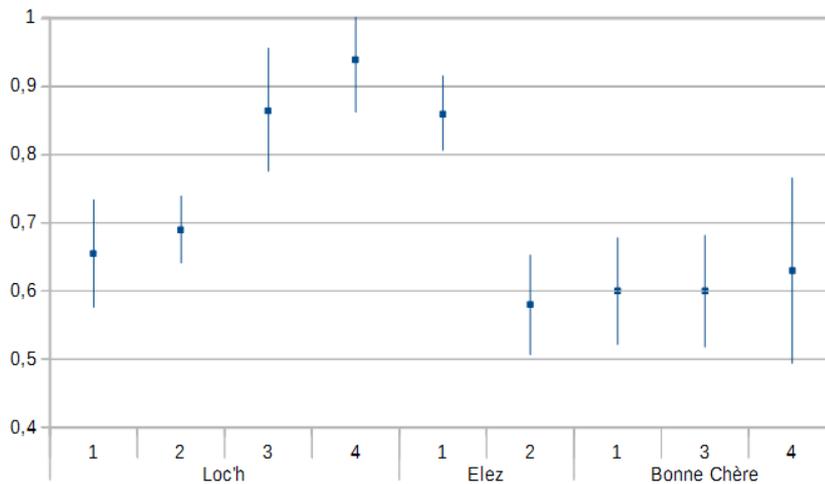


Figure 20 : Détectabilité en fonction des secteurs des trois cours d'eau (\pm écart-type)

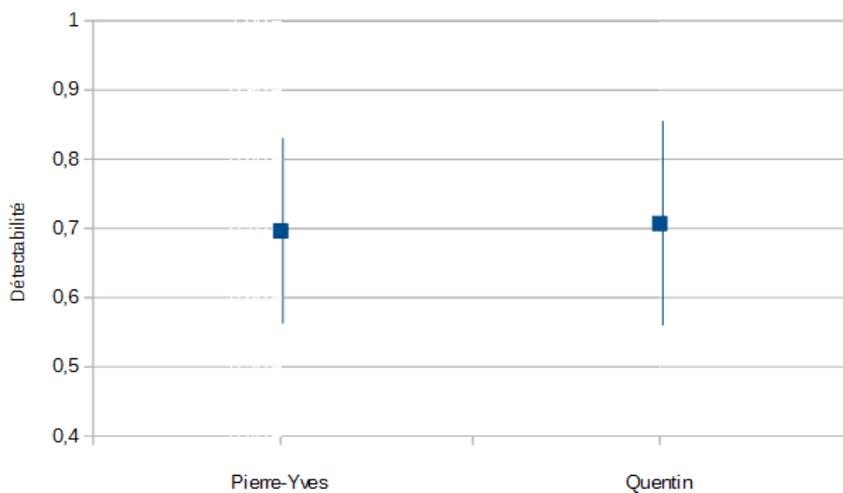


Figure 21 : Détectabilité en fonction de l'observateur (\pm écart-type)

Un exemple du calcul de la détectabilité est présenté ci-dessous pour le secteur 2 du ruisseau de l'étang du Loc'h, au passage 4.

$$D = \frac{C_t}{I} \quad D = 12/16 = 0,75$$

La détectabilité est donc de 0,75 pour le quatrième passage sur ce secteur pour l'observateur qui a réalisé ce passage.

3) Les représentations graphiques

Les Figures 19, 20 et 21 représentent respectivement l'estimation du nombre de mulettes sur les secteurs des trois cours d'eau prospectés, la détectabilité en fonction des secteurs des trois cours d'eau prospectés et la détectabilité en fonction de l'observateur. Ces graphiques appuient les résultats présentés dans le Tableau 5.

Sur la Figure 19, on observe que deux secteurs sortent du lot (secteur 1 de l'Elez et secteur 1 du Bonne Chère) avec un estimateur à plus de 100 individus pour le premier et à plus de 300 individus pour le second. On observe aussi que c'est le ruisseau du Loc'h qui a les effectifs les plus homogènes à travers ses secteurs. Ces résultats sont retrouvés dans les données de densité du Tableau 5.

Sur la Figure 20, les secteurs du Loc'h se révèlent être les secteurs où les mulettes sont les plus faciles à détecter avec le secteur 1 de l'Elez. Le secteur 2 de l'Elez quant à lui se révèle être le secteur où les mulettes sont les plus difficiles à détecter, suivi par les trois secteurs du Bonne Chère. Sur la Figure 21, on remarque que les deux valeurs de détectabilité en fonction de l'observateur sont quasiment égales. Les deux observateurs ont donc presque la même détectabilité sur tous les secteurs de ces trois cours d'eau (environ 0,7).

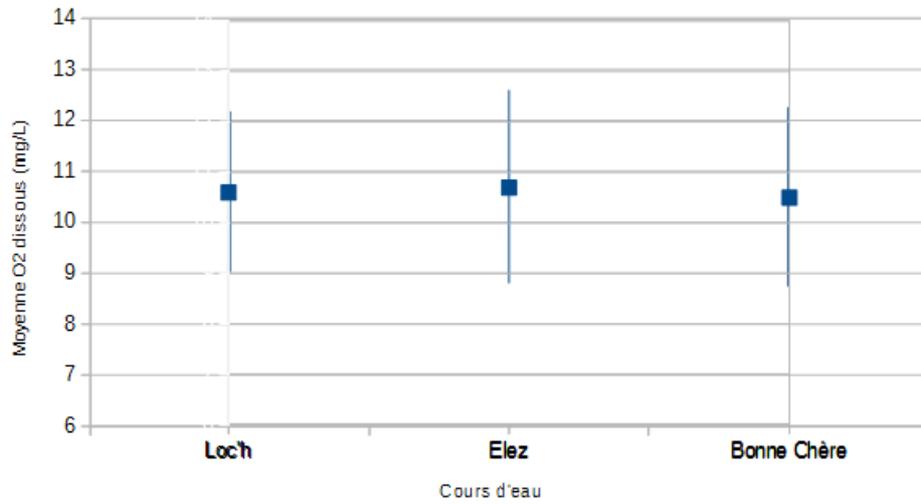


Figure 22 : Graphique de la moyenne de l'oxygène dissous (mg/L) en fonction des trois sites (\pm écart-type)

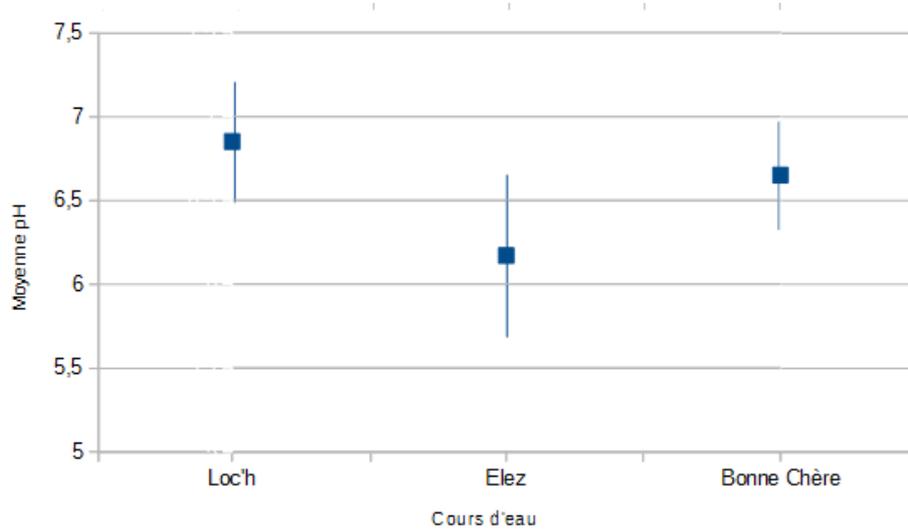


Figure 23 : Graphique de la moyenne du pH des trois sites (\pm écart-type)

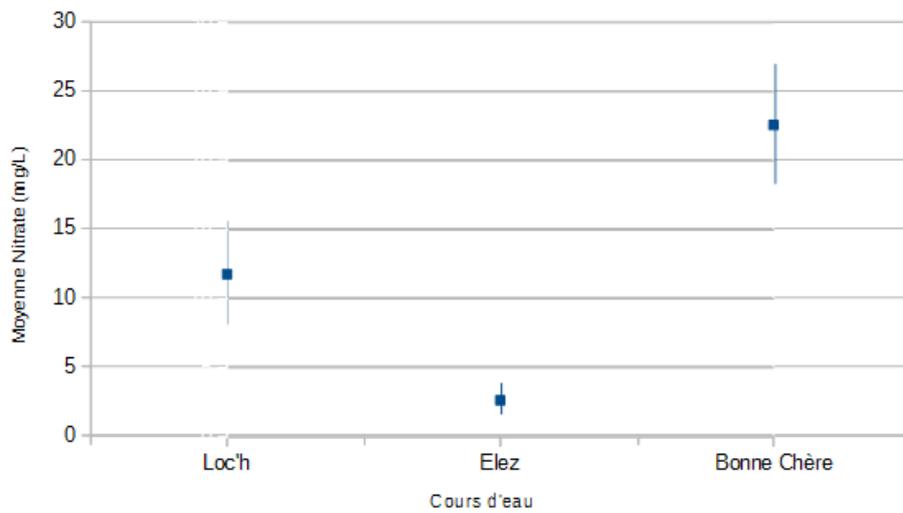


Figure 24 : Graphique de la moyenne de nitrate (mg/L) sur les trois sites (\pm écart-type)

Le Tableau 7, ci-dessous, fait ressortir les valeurs du comptage de 2015 comme étant toutes supérieures à celles du comptage de 2014 notamment avec les valeurs du secteur 1 du Bonne Chère (avec un nombre d'individus qui a quasiment doublé).

Tableau 7 : Comparaison entre les comptages de 2014 et ceux de 2015 sur les secteurs des cours d'eau étudiés

| Cours d'eau | Secteur | Nombre de Mulettes 2014 | Nombre de Mulettes 2015 | Commentaires (pour l'année 2014) |
|--------------------|---------|-------------------------|-------------------------|--|
| Loc'h | 1 | 11 | 23 | |
| | 2 | 6 | 16 | |
| | 3 | 8 | 17 | Observateur pas Expérimenté |
| | 4 | 15 | 18 | |
| Elez | 1 | 105 | 117 | |
| | 2 | 14 | 46 | Une demi-heure de prospection donc Effort de prospection plus faible et Sans lumière |
| Bonne Chère | 1 | 188 | 345 | |
| | 3 | | 10 | Pas de comptages effectués Précisément sur ces zones |
| | 4 | | 26 | |

Les Figures 22, 23 et 24 ci-contre ont été réalisées à partir du Tableau 4 présentant les paramètres physico-chimiques des trois sites d'étude.

On observe que le graphique de la Figure 22 traitant de l'oxygène dissous ne montre pas de grandes différences, il en va de même pour le graphique de la figure 23 traitant du pH. Cependant le graphique de la Figure 24 qui montre la concentration de nitrates des trois cours d'eau montre que le Bonne Chère est le cours d'eau qui a la plus grande concentration de nitrates.

V) DISCUSSION

En analysant les résultats des tableaux et des graphiques, plusieurs informations peuvent être mises en évidence.

Premièrement, les estimateurs (Figure 19) montrent bien que les effectifs de moule perlière ne sont pas les mêmes sur les trois cours d'eau, cela pouvant être dû à de nombreux paramètres comme l'hydromorphologie de la rivière, la densité de la population de départ, la qualité du cours d'eau, l'importance de l'impact de l'homme et d'autres encore inconnus.

Cependant, on peut distinguer une certaine homogénéité entre les résultats des différents secteurs du Loc'h, qui tournent autour de 20 individus par secteur. On peut notamment expliquer ces résultats par l'homogénéité des secteurs eux-mêmes. En effet, les secteurs du Loc'h choisis ont à peu près tous la même hydromorphologie (une largeur à peu près équivalente, la nature des berges à peu près équivalente aussi avec une rive ombragée composée d'une plantation d'épicéas et l'autre rive exposée au soleil qui était elle aussi une ancienne plantation d'épicéas et qui devient une zone humide) ainsi que la même granulométrie (composée de sable, pierre fine et quelques fois de pierre grossière).

En revanche, on remarque une grande différence d'effectif entre le secteur de radier et le secteur de plat lent de l'Elez. Ceci peut s'expliquer par le fait que la moule perlière est un bivalve filtreur et qu'il lui faut un minimum de courant pour pouvoir justement filtrer or le plat lent de l'Elez possède un faciès d'écoulement vraiment lent (parfois presque stagnant à certains endroits) ce qui peut ne pas convenir aux exigences de la moule. Le secteur de radier quant à lui possède un faciès d'écoulement assez rapide ainsi qu'une granulométrie très bonne pour le développement de la moule perlière (pierre fine avec gravier). De plus, il faut préciser que l'Elez possède une population de départ très importante.

Il en va de même pour le Bonne Chère dont les secteurs révèlent aussi des effectifs assez inégaux. Il faut toutefois préciser que l'estimateur du secteur 1 est sans doute faussé. En effet, ce secteur a posé problème en ayant une trop grande densité d'individus, il était donc très difficile de placer correctement les moules et donc d'estimer lesquelles étaient comptées comme étant vues par les deux observateurs ou seulement par l'un des deux. Ainsi l'estimateur est sans doute surestimé même si le nombre de moules sur ce secteur est impressionnant et doit tourner autour des 200 individus d'après les comptages de l'année dernière. Le faciès d'écoulement ainsi que la granulométrie (pierre fine avec gravier) sont idéales pour le développement de la moule. Au

contraire, les deux secteurs de plat lent sont essentiellement composés de sable ce qui ne semble pas être le meilleur des substrats pour la mulette perlière.

Un autre paramètre qui pourrait expliquer cette différence serait la détectabilité des individus des différents secteurs, c'est ce que nous montre la Figure 20.

En effet, les secteurs du Bonne Chère font partie des secteurs qui ont la plus faible détectabilité. Étant donné que la détectabilité se calcule à l'aide de l'estimateur, cette valeur est faussée pour le secteur 1 puisque l'indice est surestimé. Cependant pour les secteurs 3 et 4, les faibles taux de détectabilité peuvent s'expliquer par la difficulté à comptabiliser les mulettes, elles sont très peu visibles. Les individus se trouvent presque tous en sous-berge sous un dépôt de vase ou sous les renoncules. Il y a aussi un nombre non négligeable de jeunes mulettes c'est à dire des individus qui émergent du substrat d'à peine quelques centimètres, ce qui est très difficile à détecter.

On remarque que le secteur qui a la plus faible détectabilité est le secteur 2 de l'Elez (le plat lent). Ceci peut s'expliquer principalement par la granulométrie et par la position des mulettes. En effet, ce secteur se compose principalement de blocs de granite et les mulettes sont presque toutes situées au pied de ces blocs et sont donc difficiles à détecter. De plus, une présence importante de mousse sur les blocs et sur le fond de la rivière ainsi qu'une profondeur supérieure à 60 cm à certains endroits limite encore plus la visibilité de certains individus. Au contraire, sur le secteur 1 (le radier) les mulettes sont plutôt bien visibles, ce qui est principalement dû au substrat (pierre fine et gravier) qui facilite leur détection. C'est l'un des secteurs qui possèdent les meilleurs taux de détectabilité avec les secteurs du Loc'h.

Pour ce cours d'eau, la forte détectabilité peut une nouvelle fois s'expliquer par le substrat. Une granulométrie majoritaire de type pierre fine avec une granulométrie secondaire de type gravier ou sable facilite la détection. De plus, les individus sont souvent bien positionnés (sur une tâche de sable à côté d'un caillou par exemple) et bien visibles (les mulettes émergent souvent du substrat de manière assez prononcée). On retrouve ces conditions particulièrement sur le secteur 4, ce qui explique pourquoi son taux de détectabilité est le plus élevé d'entre tous pourtant prospecté seulement deux fois (deux passages) ce qui prouve bien sa facilité de prospection. À l'inverse, le secteur 1 accorde une visibilité moins importante à cause de sa plus grande densité de pierres combinée à une présence importante de mousse qui rendent difficile le comptage.

En observant les tableaux de résultats, on remarque que la détectabilité n'est pas la même pour chaque passage mais aussi pour chaque observateur.

C'est donc ce que montre le graphique de la Figure 21. En l'analysant, on remarque que le taux de détectabilité ne varie presque pas (0,70 et 0,71). L'effet observateur n'est donc pas présent ici et il

n'y a pas de relation entre la variation de l'effectif et l'observateur. Cela ne veut pas dire cependant que c'est vrai pour toutes les personnes, un troisième observateur aurait pu avoir une détectabilité différente de celle-ci et il aurait donc fallu tenir compte de l'effet observateur.

Un autre paramètre intéressant à analyser est le nombre de passages. On peut remarquer que tous les secteurs ne bénéficient pas du même nombre de passages (Tableau 5). Par exemple le secteur 4 du Loc'h a été prospecté seulement deux fois et propose un taux de détectabilité plus fort que le secteur 2 du Loc'h qui lui a été prospecté quatre fois. Cela s'explique par la facilité de prospection du secteur 4 où les mulettes sont facilement visibles et ce dès le premier passage. À l'inverse, l'estimateur du secteur 3 du Bonne Chère (dans le Tableau 5) qui ne bénéficie que de deux passages possède un intervalle de confiance très large ([7 ; 120]) mais est largement réduit par deux passages de plus ([5 ; 18]). Ce premier intervalle très large est aussi dû à une densité de mulette trop faible sur le secteur. Il a été constaté qu'une densité trop importante faussait les résultats mais il en va de même pour un effectif trop faible (ici moins de 10 individus). Avec seulement deux passages, ce secteur possédait un taux de détectabilité assez faible (0,38) mais a été augmenté par un ajout de deux passages (0,7). Ainsi, le nombre de passages nécessaires pour comptabiliser la majorité des individus n'est pas fixe mais varie en fonction des secteurs et surtout en fonction de la détectabilité des individus sur les secteurs, c'est à dire en fonction de la facilité à les recenser. Plus il sera facile de comptabiliser l'effectif moins le nombre de passages sera important.

En comparant les comptages de 2014 et ceux de 2015 avec le Tableau 7, on observe que les chiffres du comptage de 2015 sont tous supérieurs à ceux de 2014. Ceci s'explique principalement par la différence de méthode. En effet, en 2014 la méthode appliquée était celle du comptage « exhaustif », c'est-à-dire un seul passage sur un secteur sans temps précis de prospection, ce qui est très différent de la méthode de marquage virtuel appliquée en 2015. De plus, certaines conditions de prospection sont différentes sur certains secteurs comme le secteur 3 du Loc'h où l'observateur était très peu expérimenté ou le secteur 2 de l'Elez qui a été prospecté plus rapidement que cette année donc avec une pression d'observation moins forte et sans lampe, ce qui est très gênant sur ce secteur puisque les mulettes sont au pied ou sous les blocs parfois sous plus de 60 cm d'eau. Au contraire, le secteur 1 du Bonne Chère a plutôt bien été estimé puisque un passage sur ce même secteur cette année a révélé le même nombre de mulettes (188 individus). Le comptage de 2015 a donc précisé les effectifs de ces trois cours d'eau grâce à une méthode plus précise et plus rigoureuse.

Avec les graphiques des paramètres physico-chimiques, surtout celui montrant la concentration en nitrates des trois sites d'étude (Figure 24), on remarque que le cours d'eau le plus touché par l'Homme et le plus pollué chimiquement semble être celui du Bonne Chère, ce qui est plutôt logique puisqu'il est bordé de parcelles de culture. Étonnamment, c'est aussi le cours d'eau qui abrite la plus grande population de mulette perlière des trois sites d'étude et de toute la Bretagne. Il faut préciser que cette rivière contient des portions qui sont idéales pour le développement de la mulette, une bonne granulométrie (pierre avec gravier/sable), faciès d'écoulement assez rapide mais pas trop, eau assez froide, une quantité suffisante de lumière avec un bon ombrage tout de même. Ainsi les paramètres physico-chimiques n'expliquent pas tout, il faut prendre en compte, entre autre, les paramètres hydromorphologiques du cours d'eau et biologiques de la population (reproduction, recrutement, mortalité).

Le principal problème rencontré a été le niveau d'eau. En effet, ces manipulations sont d'habitude effectuées en période d'étiage (juin-août) là où le niveau d'eau est le plus bas et où les épisodes pluvieux sont les moins importants. Au contraire, durant les deux premières semaines du mois de mai, les niveaux des rivières ont été particulièrement haut avec de forts mouvements d'eau. Ce niveau d'eau a été gênant non seulement pour prospecter puisque la visibilité était réduite mais aussi pour la réalisation des cartes. En effet, les éléments qui allaient servir de repères dans le lit de la rivière n'étaient pas visibles, il a donc fallu beaucoup plus de temps pour réaliser les cartes des différents secteurs. De plus, les variations des niveaux d'eau ont perturbé le repérage sur le terrain puisque certains éléments non visibles lors de la réalisation des cartes l'étaient devenus avec la baisse du niveau d'eau. Mais ces mouvements d'eau sont aussi gênants pour les mulettes car même si ces épisodes de pluie n'étaient pas considérés comme des crues, une certaine quantité d'eau a bougé et un risque de voir quelques mulettes être emportées par l'augmentation du débit du cours d'eau est toujours présent. Enfin, un effort de prospection supplémentaire a dû être fourni puisque le niveau d'eau était plus haut qu'à l'étiage. Ainsi, des zones de la rivière normalement à sec et qu'on ne prospecte pas pendant la période estivale ont dû être cette fois échantillonnées.

VI) CONCLUSION

Au vu des résultats obtenus, la méthode de marquage virtuel paraît être une méthode intéressante pour le recensement d'effectifs de la mulette perlière. Cependant, des limites se sont révélées au cours du stage, et montrent que le marquage virtuel n'est pas la méthode parfaite même si elle n'a pas été réalisée au moment propice. En effet, cette technique d'échantillonnage doit être réalisée en période d'étiage pour des résultats optimaux. De plus, elle ne permet pas d'évaluer la population entière mais des effectifs de quelques tronçons car le comptage et la préparation des cartes forment un travail important à fournir. Cette méthode pose des limites aussi au niveaux des densités : pour que la méthode puisse fonctionner, il a été observé qu'il ne fallait pas avoir une densité trop faible (pas assez représentative) ou une densité trop forte (ne permet pas de placer correctement les individus sur les plans) sous peine d'obtenir des résultats faussés.

En comparant les comptages de 2014 à ceux de 2015, il en est sorti que la méthode utilisée cette année était plus efficace que celle utilisée l'année passée. Cette méthode est donc assez fiable pour déterminer l'effectif d'un tronçon de cours d'eau si les conditions sont respectées et si le nombre de passages est suffisant.

Il a été montré que le nombre de passages par secteur n'est pas fixe mais qu'il dépend de la détectabilité des mulettes sur ce secteur, détectabilité qui dépend de beaucoup de paramètres notamment la granulométrie du secteur, l'enfouissement des individus, leurs positions dans le cours d'eau. Ainsi le nombre de passages est à adapter à chaque secteur.

L'effet observateur n'a pas été démontré lors de ce stage mais ce n'est pas une vérité générale, un autre observateur aurait pu avoir un taux de détectabilité plus fort ou plus faible, ce qui aurait mis en relation l'estimation de l'effectif avec l'observateur.

Pour aller plus loin, il aurait été judicieux d'utiliser une autre méthode, comme l'échantillonnage stratifié ou systématique par exemple, sur un secteur pour comparer les résultats et donc les méthodes. Malheureusement il a été impossible de le pratiquer faute de temps.

Les données obtenues par la technique du marquage virtuel sont encourageantes et montrent qu'il y a sans doute plus d'individus que l'on ne le pense par rapport aux comptages des années passées. Mais ces données de comptage ne sont pas sans relation avec le programme LIFE instauré depuis 2010 et il ne faut pas oublier que la mulette perlière est une espèce en très grand danger d'extinction et qu'il faut continuer à la protéger pour pouvoir encore observer des populations comme celles des trois cours d'eau étudiés.

VII) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

STRAYER D.L. & SMITH D.R. 2003 - *A Guide to Sampling Freshwater Mussels Population*. American Fisheries Society, Monograph 8, Bethesda, Maryland, 100 p.

MARCILLAUD C. & LABORDE C. & NAUDON D. & BESNARD A. 2014 - *Étude de la détectabilité de Margaritifera margaritifera sur 2 rivières du Limousin par Capture Marquage Recapture : la Dronne et la Vienne*. Limousin Nature Environnement, Centre Nature la Loutre, 13 p.

LABORDE C. 2013 - *Mise en place d'un protocole de suivis à court et moyen terme de stations de Moule perlière*. Parc naturel régional de Millevaches en Limousin, 34 p.

RIBEIRO M. 2014 - *Protocole de suivi des Moules perlières du Massif armoricain*. CPIE des Collines normandes, 6 p.

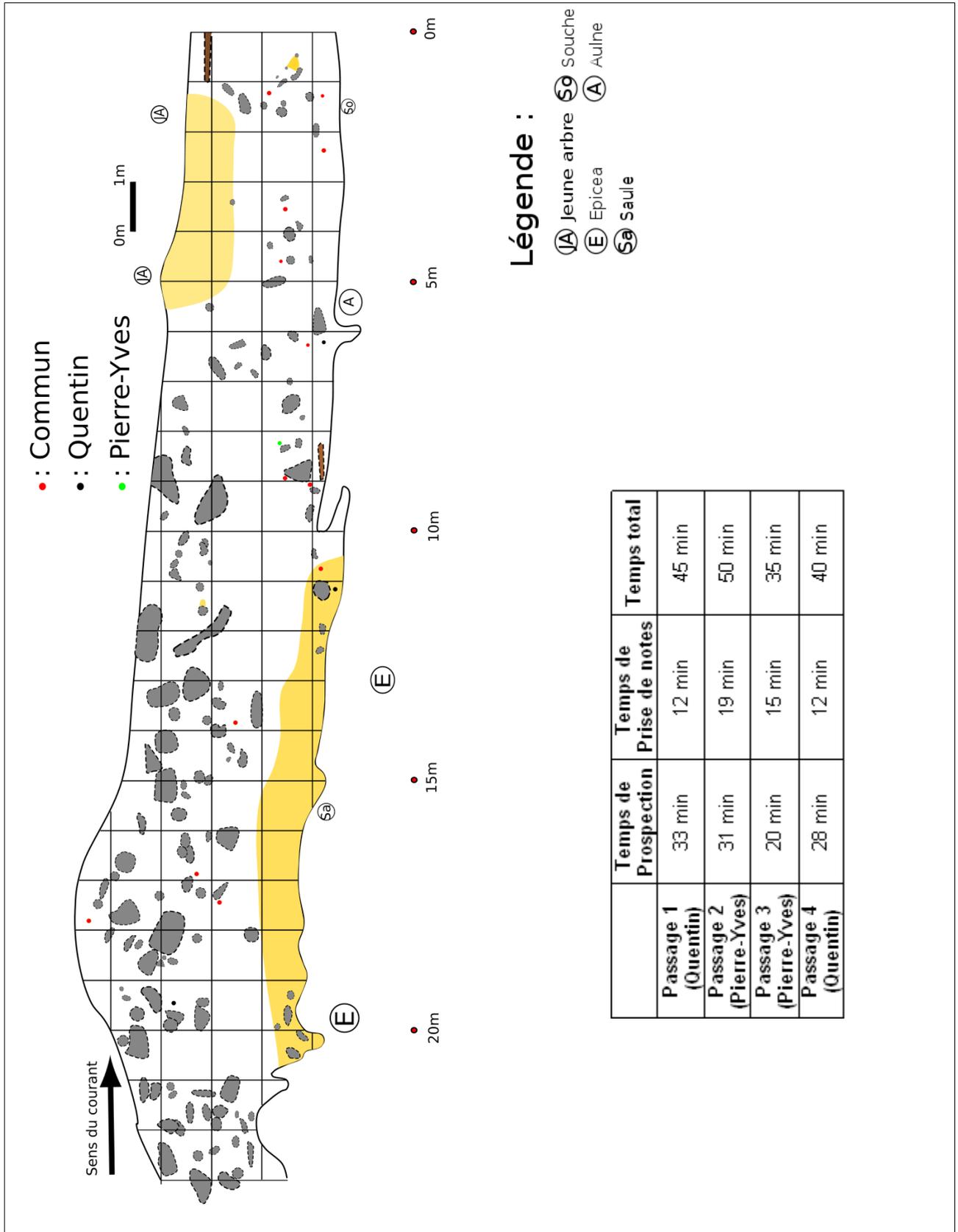
PETILLON J. 2013 - *Echantillonnage : Principes et Méthodes*. 63 p.

KREBS C.J. 1999 - *Ecological Methodology*, 2nd ed. Addison-Wesley Educational Publishers, Inc. Chapter 02, pp. 26-48.

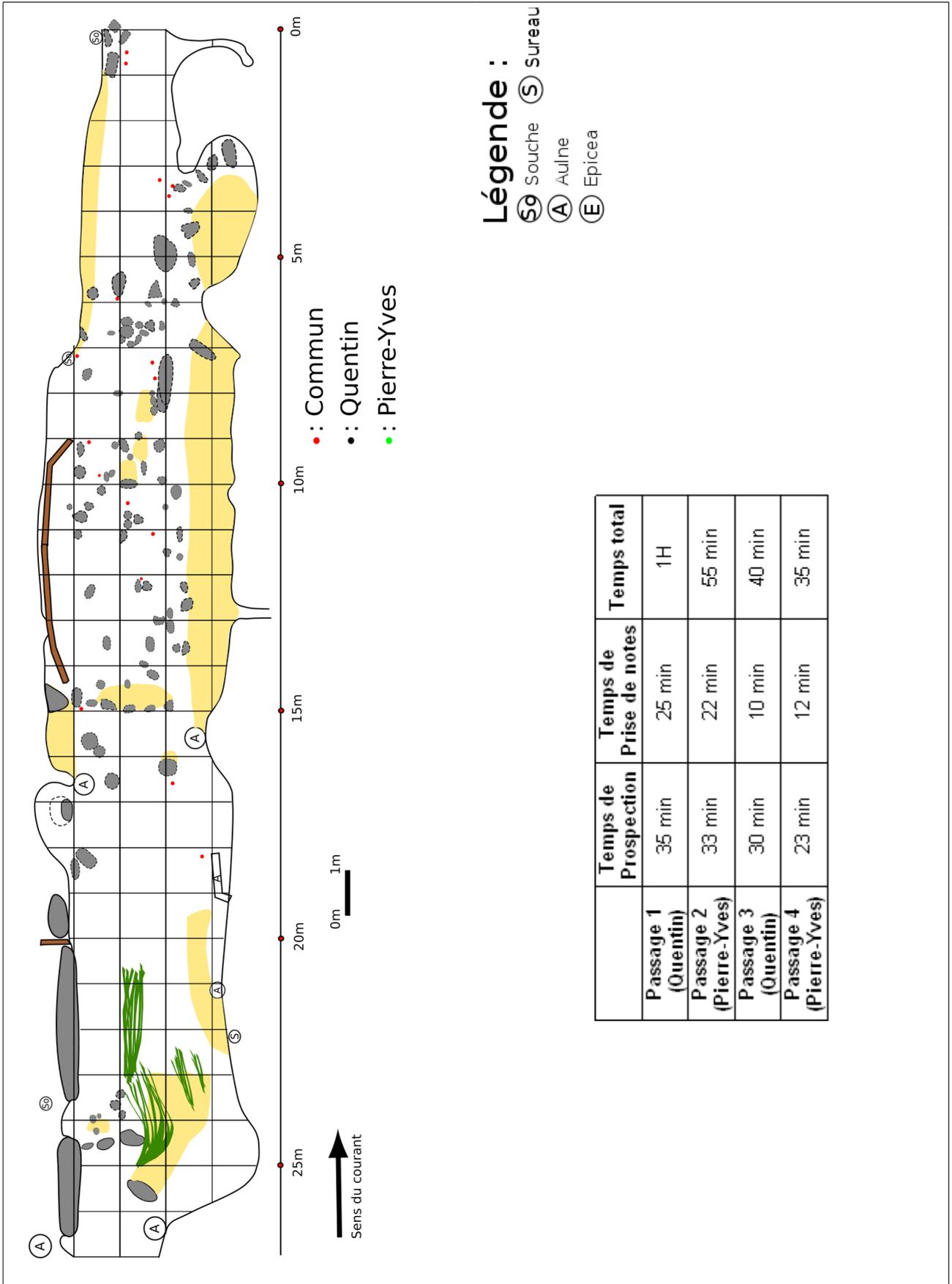
BRETAGNE VIVANTE 2015 - Programme LIFE+ Conservation de la moule perlière d'eau douce du Massif Armoricain, life-moule-perliere.org/programme-life-nature.php, 10 avril 2015, visité le 18 avril 2015.

PASCO P.-Y. 2015 - Données physico-chimiques des trois sites d'étude, 2015.

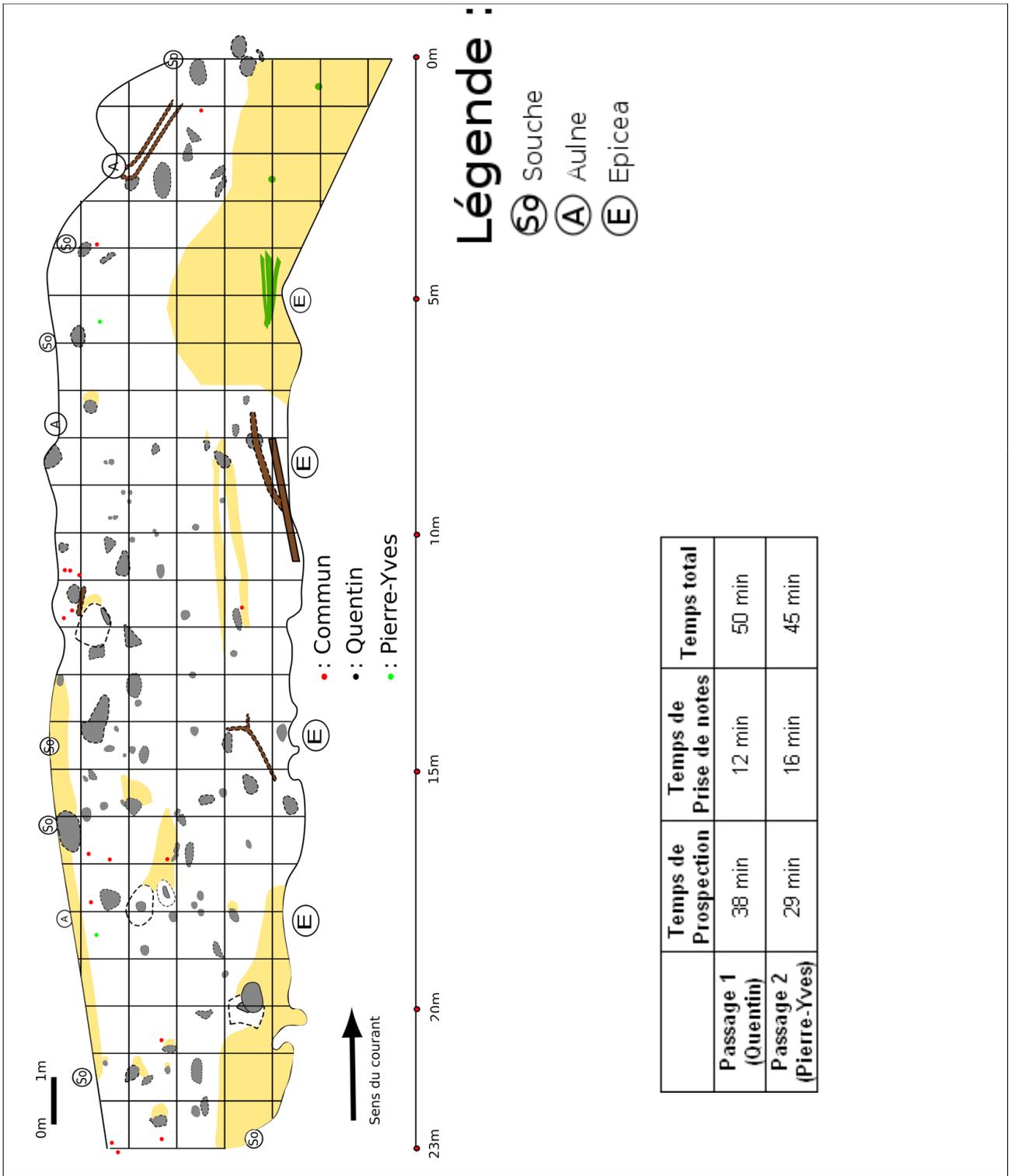
VIII) ANNEXES



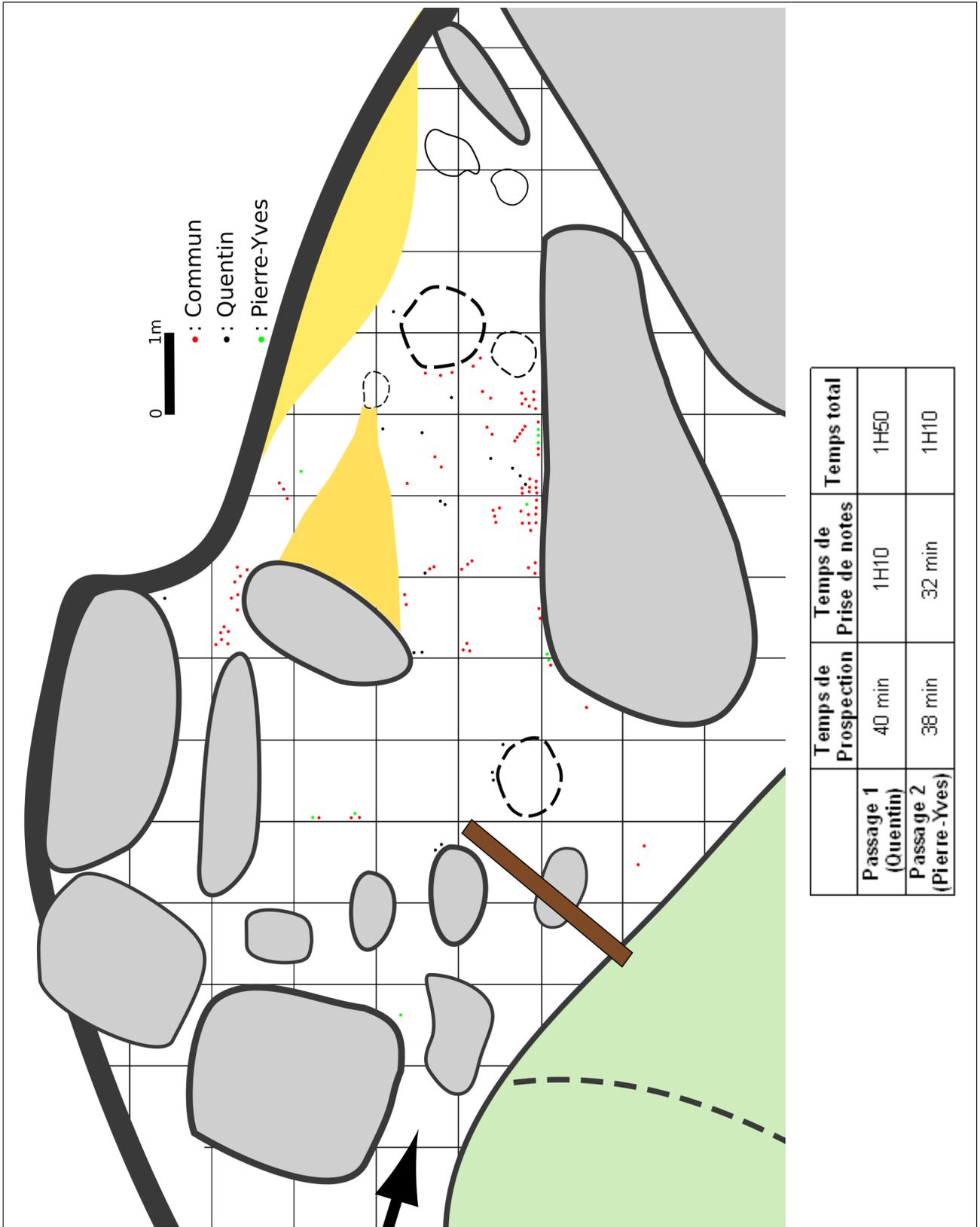
Annexe 1 : Loc'h secteur 2



Annexe 2 : Loc'h secteur 3



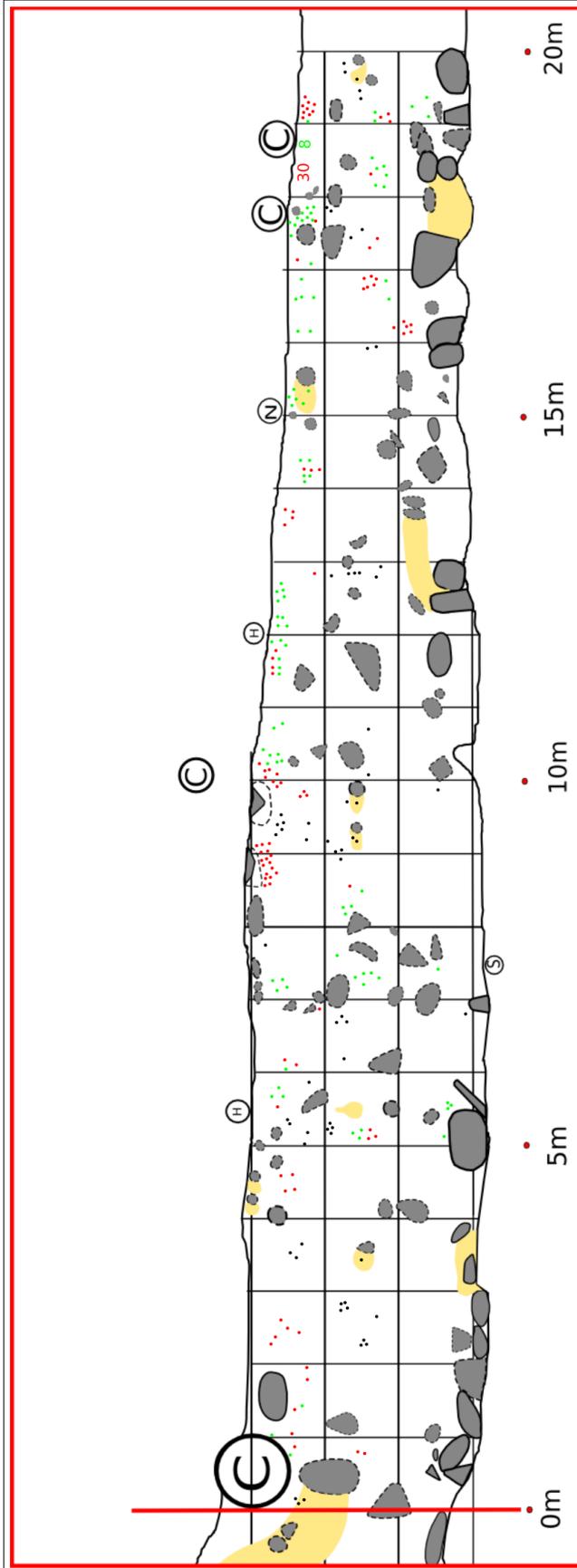
Annexe 3 : Loc'h secteur 4



Annexe 4 : Elez secteur 1



Annexe 5 : Elez secteur 2

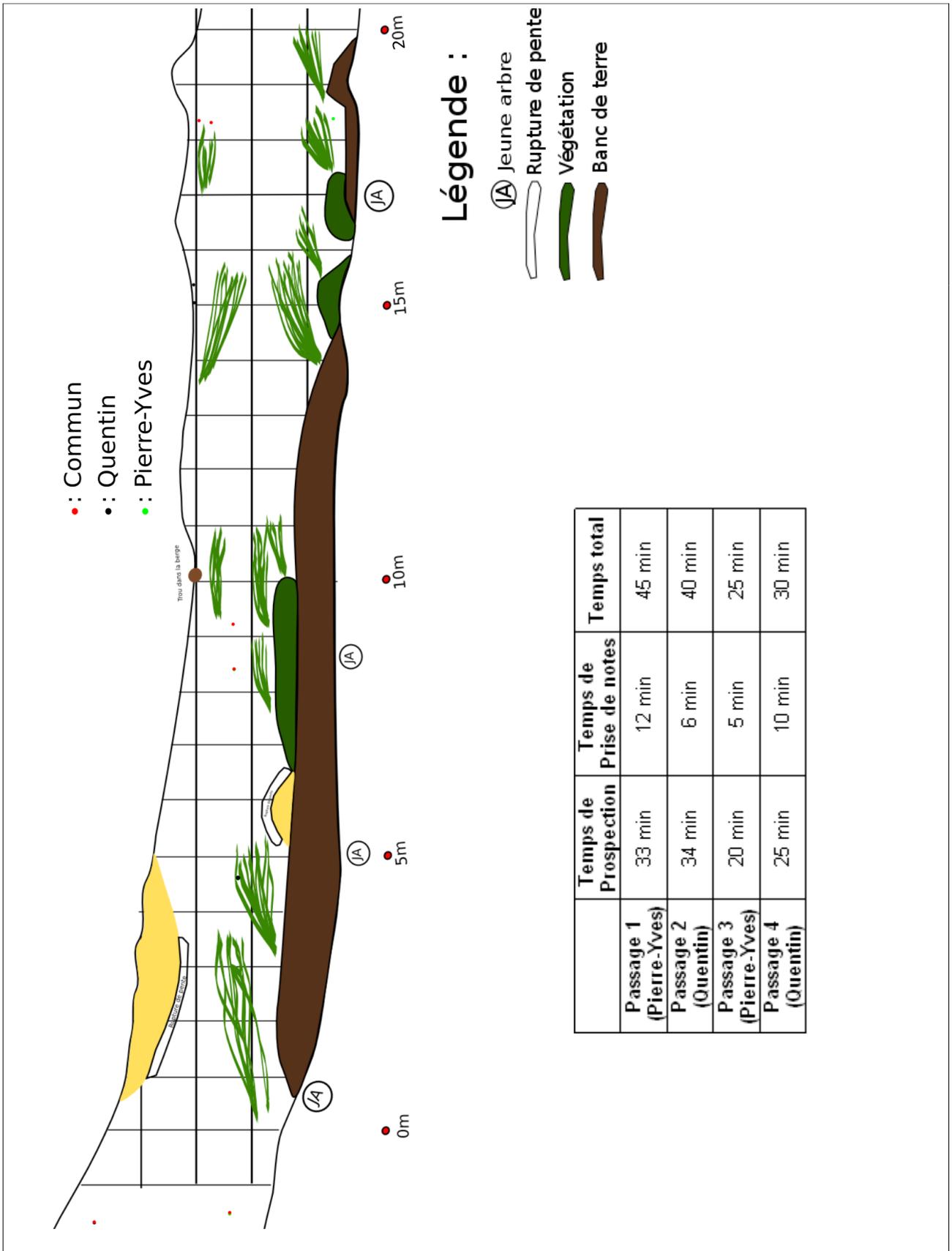


Légende :

- ⊙ chène
- ⊙ Hêtre
- ⊙ Saule
- ⊙ Sureau
- ⊙ Noisetier
- ⊙ Aubépine

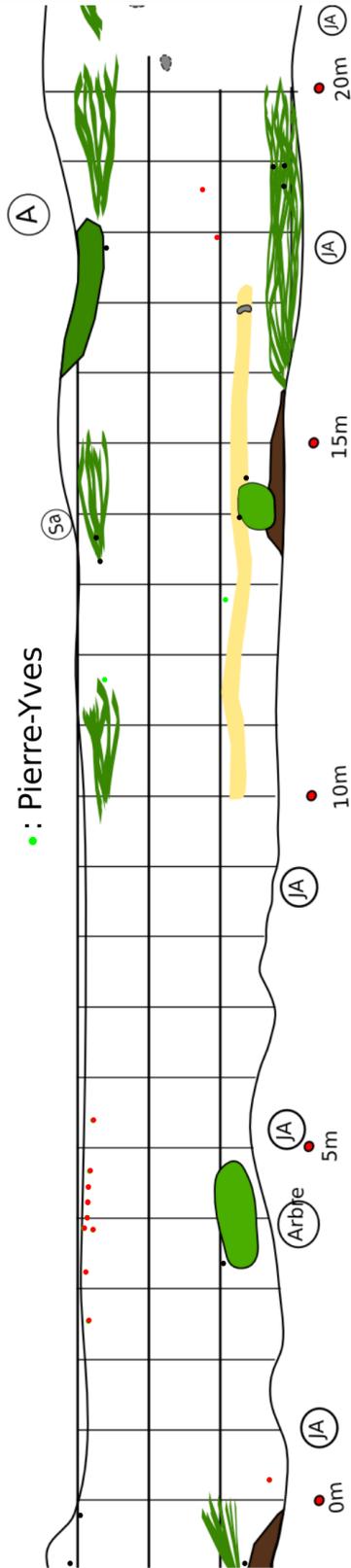
| | Temps de Prospection | Temps de Prise de notes | Temps total |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Passage 1 (Quentin) | 42 min | 1H08 | 1H50 |
| Passage 2 (Pierre-Yves) | 41 min | 34 min | 1H15 |

Annexe 6 : Bonne Chère secteur 1



Annexe 7 : Bonne Chère secteur 3

- : Commun
- : Quentin
- : Pierre-Yves



Légende :

- (JA) Jeune arbre
- (A) Aulne
- (Sa) Saule
- Rupture de pente
- Végétation
- Banc de terre

| | Temps de Prospection | Temps de Prise de notes | Temps total |
|-------------------------|----------------------|-------------------------|-------------|
| Passage 1 (Quentin) | 35 min | 15 min | 50 min |
| Passage 2 (Pierre-Yves) | 30 min | 10 min | 40 min |
| Passage 3 (Quentin) | 30 min | 15 min | 45 min |

RESUME

Ce stage à Bretagne Vivante s'inscrit dans le cadre d'un programme de sauvegarde de la moule perlière. J'ai été amené à travailler sur l'échantillonnage par la méthode de Capture – Marquage – Recapture (CMR) sur trois populations de moule perlière de Bretagne. La première étape, qui s'est déroulée dans les locaux de Bretagne Vivante pendant deux semaines, a été de regrouper puis de synthétiser les informations qui existaient sur cette méthode d'échantillonnage afin de s'approprier son fonctionnement et de prendre conscience des conditions et des limites d'application. Le travail de terrain a ainsi commencé après l'étape de synthèse bibliographique, à Carhaix. Il a été question de mettre en place une méthode d'échantillonnage basée sur le principe de la méthode CMR afin d'estimer des effectifs des populations de moule perlière de trois cours d'eau bretons : le Loc'h (Côtes-d'Armor), l'Elez (Finistère) et le Bonne Chère (Morbihan). La technique utilisée a été celle du « marquage virtuel » qui consiste à échantillonner un secteur, mémoriser la position des individus dans le cours d'eau en la notant sur un plan précis, puis à re-échantillonner en effectuant un autre passage sur le même secteur. Les résultats obtenus sont plutôt convaincants, les effectifs de 2015 sont plus élevés que ceux de 2014 réalisés par la méthode exhaustive. Ainsi la méthode mise en place cette année semble plus précise et plus fiable.

ABSTRACT

This internship in Bretagne Vivante takes place as part of a conservation programme of the freshwater pearl mussel. I worked on the method of Capture – Mark – Recapture (CMR) on three freshwater pearl mussel's populations of Bretagne. The first step which took place in the offices of Bretagne Vivante during two weeks, was to group and to synthesize information about this method to have a good understanding of its functioning, its conditions and limits of application. The fieldwork began after the bibliographical synthesis, in Carhaix. The intention was to set up a method of sampling based on the principle of the CMR's designs to estimate some parts of freshwater pearl mussel's populations of three rivers : the Loc'h (Côtes-d'Armor), l'Elez (Finistère) and the Bonne Chère (Morbihan). The technique used was the « virtual mark » which consists to sampling a sector, memorize the position of the mussels in the river by noting it on a precise plan, and to re-sampling with another passage on the same sector. The obtained results are convincing, the 2015 estimates are more important than those of 2014 realized by the exhaustive design. So the method set up this year is more precise and more reliable.