

ÉTAT ÉCOLOGIQUE DE LA VAIGE,
CARACTÉRISATION DU PEUPLEMENT DE
MULETTE ÉPAISSE *UNIO CRASSUS*
(Philipsson, 1788)



Aline GOUHIER

*Licence professionnelle Analyses et Techniques
d'Inventaires de la Biodiversité 2018/2019*

Université Claude Bernard Lyon 1



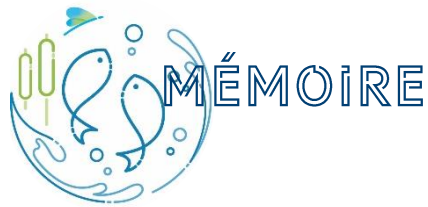
AG©

Tuteur universitaire : **Emilien LUQUET**

Maître d'apprentissage : **Xavier SEIGNEURET**



Syndicat de Bassin
entre **Mayenne** et **Sarthe**



Rédaction SBeMS

Syndicat de Bassin entre Mayenne et Sarthe

Aline GOUHIER

(Apprentie technicienne supérieure de l'environnement 2018-2019)

Relecture SBeMS et UCBL1/L.E.H.N.A.

Syndicat de Bassin entre Mayenne et Sarthe

Xavier SEIGNEURET

(Coordinateur du SBeMS et technicien de rivière)

Université Claude Bernard Lyon 1 / Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés

Emilien LUQUET

(Maître de Conférence)



Référence du document

« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

Je souhaite remercier tout particulièrement mon maître d'apprentissage et technicien rivière, Xavier SEIGNEURET, qui m'apporte conseils et expertise dès que nécessaire ; le bureau du Syndicat de Bassin entre Mayenne et Sarthe qui s'intéresse et m'accorde sa confiance pour ce projet ; mon tuteur universitaire, Emilien LUQUET, qui m'alloue du temps pour discuter de la mise en œuvre du projet global et qui s'est déplacé afin de participer aux pêches électriques du 22/07/2019; le technicien de rivière du Syndicat du JAVO, Yohann LUCAS, qui m'a apporté ses connaissances et ses propositions ; Franck NOEL, naturaliste indépendant, sans qui je ne saurai pas reconnaître les différentes espèces de bivalves et qui est l'indicateur qu'*Unio crassus* est présente sur la Vaige, ainsi que pour son implication dans la recherche de glochidies lors des actions de pêches électriques du 22/07/19 ; la Fédération de pêche et de protection des milieux aquatiques de la Mayenne pour avoir permis et effectué les pêches électriques ; Florent LAMAND, Ingénieur en hydrobiologie à la Direction régionale Grand Est de l'AFB, qui m'a conseillé sur la méthode de recherche à employer ; Sylvain VRIGNAUD, naturaliste indépendant et surtout malacologue, qui m'a accordé du temps pour me conseiller et m'informer sur les méthodes utilisées et les actions intéressantes à mener pour cette étude ; la DDT de la Mayenne, pour leur confiance en me fournissant l'autorisation de dérangement d'espèce protégée ; et enfin, les riverains de la Vaige, pour leur accueil et leur bienveillance au sujet de mon travail.

Chaque milieu constitue un écosystème unique incluant les espèces animales et végétales qui y vivent. Les hydrosystèmes n'y font pas exception. Certaines rivières de plaines européennes abritent des organismes très spéciaux comme les bivalves tels que les moules. Ce sont des bivalves dulcicoles et filtreurs (en moyenne : 40L d'eau/jour/individu), peu mobiles. La Mulette épaisse *Unio crassus*, de la famille des Unionidae, en fait partie. Elle est inscrite aux annexes II et IV de la Directive « Habitats-Faune-Flore » et intégralement protégée par l'arrêté ministériel du 23 avril 2007. Elle est d'ailleurs classée comme « en danger d'extinction » par l'UICN Europe et France, avec des populations en diminution. Malgré sa large aire de répartition (espèce la plus représentée en Europe), la rivière de la Vaige est en limite occidentale de cette aire (source : PRIE V., 2018), ce qui lui confère une importance toute particulière.

Ce projet a pour but de caractériser le peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* sur la rivière de la Vaige. Plusieurs étapes sont mises en œuvre, telles qu'une recherche à vue des coquilles de bivalves sur toute la longueur du cours d'eau de la Vaige, des prospections des individus vivants, une caractérisation de l'habitat préférentiel de l'espèce cible, une définition du peuplement ichthyologique additionné d'une recherche de glochidies enkystées dans les branchies des poissons-hôtes de la Mulette épaisse.

Ce document présente la totalité du travail mené et les résultats obtenus. Ils révèlent notamment la présence de populations adultes et vivantes sur le cours d'eau de la Vaige. De plus, il s'avère que quatre espèces et un genre : *Unio crassus*, *Unio mancus*, *Potomida littoralis*, *Corbicula fluminea* et *Anodonta sp* ; sont présents plus ou moins abondamment sur la rivière.

Each environment constitutes a unique ecosystem including the animal and plant species that live there. Hydrosystems are no exception. Some rivers of European plains harbor very special organisms like bivalves such as mussels. They are freshwater bivalves and filter feeders (on average: 40L of water / day / individual), not very mobile. The thick mule *Unio crassus*, of the family Unionidae, is one of them. It is listed in Appendices II and IV of the "Habitats-Fauna-Flora" Directive and fully protected by the ministerial decree of 23 April 2007. It is also classified as "in danger of extinction" by IUCN Europe and France, with declining populations. Despite its wide range (the species most represented in Europe), the Vaige River is at the western edge of this area (source: PRIE V., 2018), which gives it a special importance.

The purpose of this project is to characterize the population of Mullet thick *Unio crassus* on the Vaige River. Several stages are implemented, such as a visual search for bivalve shells along the entire length of the Vaige stream, surveys of living individuals, a characterization of the preferred habitat of the target species, a definition of the ichthyological settlement with a search for encysted glochidia in the gills of the Meringue thick-leaved host fish.

This document presents the totality of the work carried out and the results obtained. In particular, they reveal the presence of adult and living populations on the Vaige stream. In addition, it appears that four species and one genus: *Unio crassus*, *Unio mancus*, *Potomida littoralis*, *Corbicula fluminea* and *Anodonta sp.*; are present more or less abundantly on the river.



TABLE DES MATIÈRES

Introduction	1
Syndicat de Bassin entre Mayenne et Sarthe	3
Le territoire	3
Objectifs et actions	3
Organisation	3
Financements	3
La commande	4
Matériels et méthodes	4
Site d'étude : rivière de la Vaige	4
Espèce étudiée : <i>Unio crassus courtillieri</i>	5
Méthode d'inventaire	7
Inventaire des coquilles vides	7
Identification des tronçons favorables à la présence d'individus vivants	8
Localisation des populations vivantes	9
Caractérisation du peuplement ichtyologique par pêches électriques	10
Caractérisation de l'habitat	11
Résultats	13
Inventaire des coquilles vides	13
Identification des tronçons favorables à la présence d'individus vivants	14
Localisation des populations vivantes	15
Caractérisation du peuplement ichtyologique par pêches électriques	17
Caractérisation de l'habitat	18
Discussion	19
Conclusion	23
Bibliographie	25
Annexes	29



TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Cartographie des bassins versants du SBeMS	3
Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol - Bassin versant de la Vaige	4
Figure 3: Morphologie d' <i>Unio crassus courtillieri</i>	5
Figure 4 : Cycle de vie d' <i>Unio crassus</i>	6
Figure 5 : Répartition française d' <i>Unio crassus</i>	7
Figure 6 : Recherche à vue des coquilles de bivalves sur la rivière de la Vaige (source photo : Aline GOUHIER)	8
Figure 7: Coquilles types de bivalves récoltées	8
Figure 8: Mesure des coquilles	8
Figure 9: Etats types des coquilles récoltées	8
Figure 10: Schématisation de la méthode de prospection des individus adultes vivants	9
Figure 11 : Schéma de mise en œuvre des pêches électriques par points	10
Figure 12: Manipulation des poissons pour l'observation des glochidies enkystées	11
Figure 13 : Schéma de la mesure du substrat	11
Figure 14 : Cartographie des stations de récoltes des coquilles d' <i>Unio crassus</i> - Vaige	13
Figure 15 : Diagramme des types de coquilles d' <i>Unio crassus</i> récoltées	14
Figure 16 : Diagramme du peuplement de bivalves - Vaige	14
Figure 17 : Cartographie des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d' <i>Unio crassus</i> - Vaige	15
Figure 18 : Proportion des espèces de naïades sur l'ensemble des tronçons prospectés - Vaige	15
Figure 19: Diagramme des classes d'âges estimés de l'ensemble des individus d' <i>Unio crassus</i> observés - Vaige	16
Figure 20: Cartographie des stations d'individus vivants d' <i>Unio crassus</i> - Vaige	16
Figure 21: Diagramme des peuplements ichtyologiques sur les stations de pêches électriques du 22/07/19 - Vaige	17
Figure 22: Photographie au microscope optique d'un Vairon enkysté	17
Figure 23 : Photographie au microscope optique d'une glochidie de naïade	18
Figure 24 : Courbe de la granulométrie favorable à <i>Unio crassus</i> - Vaige	18



TABLE DES ANNEXES

Annexe n°1 : Cartographie de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Vaige	29
Annexe n°2 : Gradient piscicole amont/aval	30
Annexe n°3 : Types de faciès	31
Annexe n°4 : Cartographie de localisation des stations de récolte de coquilles de bivalves – Vaige	32
Annexe n°5 : Cartographie de localisation des stations de récolte de coquilles de bivalves – Vaige – Zoom1	33
Annexe n°6 : Cartographie de localisation des stations de récolte de coquilles de bivalves – Vaige – Zoom2	34
Annexe n°7 : Diagramme des types de coquilles d' <i>Unio crassus</i> récoltées	35
Annexe n°8 : Diagramme des peuplements de bivalves au vu des coquilles récoltées	35
Annexe n° 9 : Cartographie des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d' <i>Unio crassus</i> – Vaige	36
Annexe n°10 : Cartographie des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d' <i>Unio crassus</i> - Zoom1	37
Annexe n°11 : Cartographie des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d' <i>Unio crassus</i> - Zoom 2	38
Annexe n°12 : Tableau des résultats d'observation des individus de naiades vivants	39
Annexe n°13 : Cartographie des indices de présence d' <i>Unio crassus</i> – Vaige – Zoom 1	40
Annexe n°14 : Cartographie des indices de présence d' <i>Unio crassus</i> – Vaige – Zoom 2	41

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

Carhyce : Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau

CTMA : Contrat Territorial Milieux Aquatiques

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EPCI-fp : Etablissement Public de Coopération Intercommunale à fiscalité propre

FDPPMA : Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques

GEMAPI : Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

JAVO : Syndicat des Bassins versants de la Jouanne, Affluents de Laval, Vicoin et Ovette

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

RD : Rive Droite

RG : Rive Gauche

SAGE : Schéma d'Aménagement et Gestion des Eaux

SBeMS : Syndicat de Bassin entre Mayenne et Sarthe

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

VCN3 : Volume Consécutif minimal pour 3 jours

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Espèces de bivalves :

A : *Anodonta sp.* / Genre Anodonte

PI : *Potomida littoralis* / Mulette des rivières

Uc : *Unio crassus* / Mulette épaisse

Um : *Unio mancus* / Mulette méridionale

Espèces piscicoles :

ANG : Anguille

BRE : Brème

CHE : Chevaine

GAR : Gardon

LOF : Loche franche

PER : Perche fluviatile

VAI : Vairon

BOU : Bouvière

CHA : Chabot

EPT : Epinochette

GOU : Goujon

PCH : Poisson chat

TAN : Tanche

Sources photographiques© :

AG : Aline GOUHIER

FN : Franck NOEL

Les hydrosystèmes de surface résultent des interactions entre l'eau, circulant à la surface de la terre, et le type d'environnement (climat, végétation, géologie, ...) qu'elle rencontre. Les facteurs naturels, comme la pente, la géologie ou la taille du bassin versant, déterminent la forme du cours d'eau. De ces facteurs découle une grande diversité d'habitats dont la nature diffère selon leur emplacement dans le bassin versant et peut varier d'une région à une autre sous l'influence du climat. Un habitat est toujours l'association d'un milieu particulier avec une flore et une faune spécifiques. En effet, chaque milieu, caractérisé par un fonctionnement propre, constitue un écosystème unique incluant les espèces animales et végétales qui y vivent. Tandis que certaines y effectuent l'intégralité de leur cycle de vie ; pour d'autres, il s'agit seulement d'un lieu de reproduction ou d'approvisionnement en eau. Toutes ces espèces n'ont pas les mêmes besoins, leur présence dépend de la nature du cours d'eau et de son environnement. Par ailleurs, les espèces présentes sont aussi sensibles à la qualité de l'eau. C'est pour cette raison que plusieurs groupes d'espèces, particulièrement sensibles, servent de bioindicateurs dans le but d'évaluer la qualité écologique d'un cours d'eau. Les hydrosystèmes constituent en outre d'importants réservoirs de biodiversité et sont de réels corridors écologiques qui participent à la continuité écologique, permettant ainsi aux espèces de circuler librement entre leurs différents habitats.

Les milieux aquatiques ont toujours fourni de nombreux services écosystémiques aux êtres humains : nourriture, énergie, loisirs, etc. Par rapport à ces divers services, l'Homme a souvent remanié les cours d'eau à son avantage, en créant des retenues, des biefs ou même en les déviant de leurs lits originels. D'après un rapport de l'Office Nationale de l'Eau et les Milieux Aquatiques (MALAVOI J-R., BRAVARD J-P., 2010), plus de 60 000 ouvrages sont recensés sur les cours d'eau de France, avec majoritairement des moulins et dont la moitié des ouvrages n'a pas d'usage avéré. Tout ceci a participé à la dégradation de la qualité écologique paysagère des cours d'eau puisque ces obstacles induisent des perturbations sur la continuité écologique, plus ou moins important selon leur hauteur, leur emplacement et leur effet cumulé par leur succession. En créant des ouvrages sur le lit du cours d'eau, la ligne d'eau et la pente sont modifiés, entraînant alors une transformation de la rivière en une succession de retenues d'eau stagnante. Ces ouvrages peuvent ainsi provoquer, par exemple, une uniformisation de l'écoulement, une diminution de la capacité auto-épuratrice du cours d'eau, une modification de la température de l'eau en amont et en aval de l'ouvrage, etc. De plus, la rivière étant un flux continu de matériaux solides, les ouvrages construits peuvent entraîner un blocage du flux de sédiments à l'amont de l'obstacle et un déficit à l'aval ; déséquilibrant ainsi la dynamique et la morphologie du cours d'eau. Le déficit génère souvent une érosion du lit en aval et donc une disparition des substrats favorables à la vie et à la reproduction des espèces aquatiques. Enfin, les obstacles à l'écoulement (plus ou moins franchissables) et leur succession sur le linéaire du cours d'eau, impactent fortement les possibilités de déplacement des espèces. La fragmentation de la rivière favorise aussi

l'isolement des populations et donc une perte de la diversité génétique réduisant ainsi les capacités d'adaptation, de résistance aux pathogènes et les éventuelles recolonisations. C'est pourquoi, aujourd'hui, les études visant à mieux connaître les cours d'eau, permettent de garantir un compromis entre sauvegarde de la biodiversité et maintien des services rendus.

Selon l'Observatoire National de la Biodiversité, en France, seulement 44,5% des eaux de surfaces continentales sont considérées en 2015 comme étant en « bon » ou en « très bon état » (SNB-MED-17-QED1). La Directive 2000/60/CE (DCE) a été mise en place au niveau européen, fixant pour objectifs la gestion et la préservation des milieux aquatiques, et pour objectif global l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2027 (2015 au départ et repoussé à 2021 et 2027). Plus tard, en 2006, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA - n°2006-1772 du 30 décembre 2006) a été votée sur le territoire français. Cette loi intègre bien évidemment les recommandations de la DCE et plus particulièrement « la reconquête de la qualité écologique des cours d'eau » en d'autres termes, la reconquête de la continuité écologique des eaux, des sédiments et des espèces.

Pour mener à bien ces objectifs sur tout le territoire français, des actions plus ou moins ambitieuses sont menées sur de nombreux bassins versants respectant les recommandations des Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) au niveau des grands bassins hydrographiques et quand ils existent plus localement, par les Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE). Des collectivités territoriales comme les Syndicats de bassins travaillant à l'échelle de sous-bassins s'engagent depuis une dizaine d'années, par des programmes pluriannuels, dans cette restauration des milieux aquatiques (aménagements ou arasements d'obstacles à la continuité écologique, restauration de zones humides...). Cette maîtrise d'ouvrage opérationnelle s'appuie sur des contrats territoriaux (CTMA), d'une durée de 5 ans, signés avec l'Agence de l'Eau et dans certains cas, les Départements. Le SBeMS a signé un CTMA avec l'Agence de l'Eau Loire Bretagne et le Département pour la période 2017/2021. L'effacement d'ouvrages, volet ambitieux du programme de travaux du SBeMS, permet le rétablissement de la libre circulation des tous les organismes vivants ainsi que des sédiments. Les organismes peuvent alors reconquérir des habitats jusqu'ici inaccessibles, permettant le décloisonnement génétique des populations.

C'est dans ce cadre, qu'il m'a été confié la caractérisation de la population totale de Mulette épaisse *Unio crassus* sur la rivière de la Vaige. La Mulette épaisse, espèce protégée et classée comme « en danger » en France, s'avère être un très bon indicateur de la qualité du milieu, puisqu'il s'agit d'une espèce filtreuse utilisant un hôte vertébré et plusieurs habitats au fil de son cycle de vie. Ce projet se décline en plusieurs parties, la première étant le recensement des adultes par la recherche des coquilles vides, et la deuxième étant la caractérisation de l'habitat des populations et la recherche de poissons-hôtes. Au final, cette caractérisation permettra au SBeMS d'apprécier la localisation exacte de ces populations, tout en connaissant l'état de celles-ci et leurs besoins, afin de les prendre en compte dans la programmation de travaux de restauration sur la rivière de la Vaige.



LE TERRITOIRE

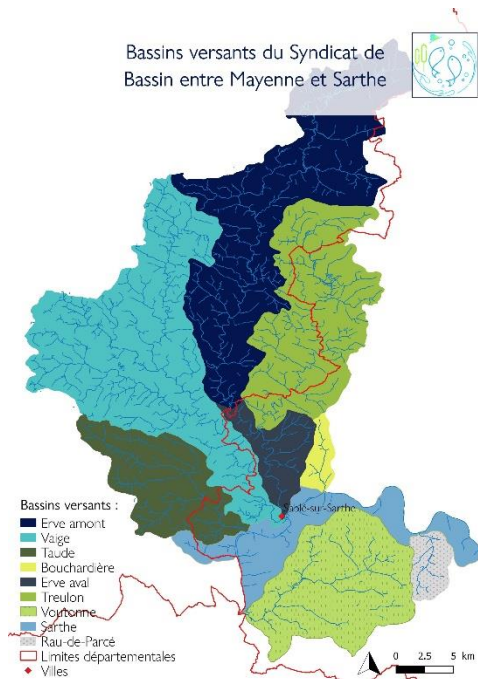


Figure 1 : Cartographie des bassins versants du SBeMS

Le territoire du SBeMS est composé de huit bassins versants dont les rivières se jettent dans la rivière de la Sarthe (traversant la commune de Sablé-sur-Sarthe). Bien que le bassin versant « Sarthe » ne concerne que les affluents de cette rivière présents sur la communauté de communes de Sablé-sur-Sarthe, rive gauche ; au total, ce territoire recouvre près de 972.50 km², à cheval entre le département de la Mayenne à l'ouest et le département de la Sarthe à l'est. Le SBeMS est alors en charge de 1279 km linéaires de cours d'eau. L'ensemble des huit entités proposent majoritairement des zones agricoles et peu d'urbanisation.

OBJECTIFS & ACTIONS

En vue de répondre aux objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau et dans le cadre d'une gestion équilibrée de la ressource hydrique et de la biodiversité sur le territoire ci-dessus désigné, le SBeMS a pour objet d'assurer et de promouvoir toutes les actions utiles et nécessaires à leurs fonctionnements naturels. D'une manière générale, le SBeMS est une structure GEMAPI (Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), fruit du transfert de compétence de 5 EPCI-fp. Ces compétences découlent des quatre items obligatoires de la GEMAPI soit le 1°, 2°, 5° et 8° ; concernant l'aménagement d'un bassin ou d'une fraction de bassin hydrographique ; l'entretien et l'aménagement d'un cours d'eau, canal, lac ou plan d'eau ; la défense contre les inondations ; la protection et la restauration des sites, des écosystèmes aquatiques et des zones humides ainsi que des formations boisées riveraines.

ORGANISATION

Le syndicat est présidé par Pascal GANGNAT, maire de la commune de Beaumont-Pied-de-Bœuf. Le SBeMS est composé d'un service administratif dirigé par Aurélie MASSOT et d'un service technique constitué de Xavier SEIGNEURET et Cécilia ANDRE, tous deux techniciens de rivière. Xavier SEIGNEURET est en charge de la coordination technique du SBeMS et des bassins versants de la Vaige et de l'Erve amont tandis que Cécilia ANDRE est en charge des autres bassins versants du territoire du SBeMS.

FINANCEMENTS

Le budget général du SBeMS provient d'une contribution annuelle des cinq communautés de communes du territoire. Son montant est proportionnel à la surface des bassins versants du SBeMS occupée sur les

communautés de communes et le nombre d'habitants concernés. Les EPCI-fp ont plusieurs possibilités pour répondre à cette sollicitation : elles prélèvent directement sur leur budget général ou elles mettent en place la taxe GEMAPI. Les travaux, identifiés comme étant d'intérêt général par arrêté préfectoral et compris dans les CTMA, sont subventionnés jusqu'à 80% par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, le Département de la Mayenne et la Région des Pays de la Loire. Par exemple, un effacement de barrage sera subventionné à 70% par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, le Département 53 et la Région Pays de la Loire subventionnant les 10% restant ; le SBeMS complète ensuite la valeur des travaux grâce à son budget général.

LA COMMANDE

Le SBeMS m'a confiée la mission d'inventorier les populations vivantes d'*Unio crassus* sur tout le linéaire de cours d'eau de la Vaige. Cette mission comprend plusieurs étapes telles que la localisation des populations, la caractérisation de leurs états ainsi que de la population ichtyologique présente sur divers tronçons de la rivière, et enfin la définition de l'habitat privilégié d'*Unio crassus*. Cette mission a toute son importance dans le cadre des travaux lourds mené sur la Vaige. Grâce aux résultats obtenus, les travaux sur la morphologie du lit pourront être orientés en faveur de l'espèce cible. Par exemple, la localisation précise des populations permettra l'aménagement des travaux (cheminement des engins, déplacement provisoire d'individus, ...) et la caractérisation de son habitat influera sur la taille de la granulométrie apportée pendant les travaux.



MATÉRIELS & MÉTHODES

SITE D'ETUDE : RIVIERE DE LA VAIGE

La rivière de la Vaige est un affluent direct de la Sarthe, elle fait partie intégrale du grand bassin hydrographique Loire – Bretagne. La Vaige prend sa source sur la commune de Saint-Léger-en-Charnie à 117m d'altitude. Après avoir parcouru 54.5 km vers le sud et traversé 13 communes, elle se jette dans la rivière de la Sarthe sur la commune de Sablé-sur-Sarthe à 22m d'altitude. Son bassin versant recouvre ainsi 253 km², à cheval sur le département de la Mayenne et celui de la Sarthe. (cf figure n°1) La rivière de la Vaige présente des débits très irréguliers. En effet, elle montre des fluctuations saisonnières de débit assez marquées : des hautes eaux hivernales portant le débit mensuel moyen à un niveau situé entre 2,52 et 4,09 m³/s, de décembre à mars inclus (avec un net maximum en janvier), et des basses eaux estivales assez prolongées, de

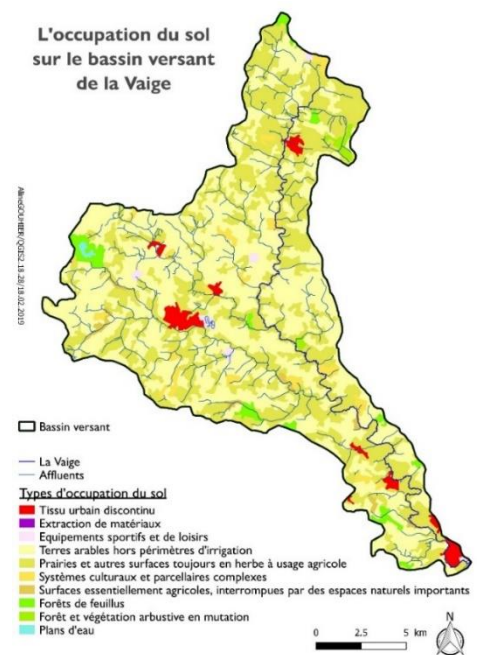


Figure 2 : Cartographie de l'occupation du sol - Bassin versant de la Vaige

juin à octobre inclus, avec une baisse du débit mensuel moyen jusqu'à 0,121 m³/s au mois d'août. À l'étiage, il arrive que le volume consécutif minimal pour 3 jours (VCN3) puisse chuter jusqu'à 0,004 m³/s, soit 4L/s et le cours d'eau se retrouve dès lors quasiment à sec. Le bassin versant de la Vaige, appartenant au massif armoricain, est caractérisé par la présence de granites, schistes et argiles. La Vaige est disposée complètement sur le socle granitique et possède alors un régime hydrologique essentiellement lié au ruissellement pluvial, ce qui explique des étiages très marqués (pas/peu d'alimentation par la nappe). De plus, le bassin versant de la Vaige (cf figure n°2 et Annexe n°1) est principalement occupé par des parcelles agricoles cultivées (55.46 %) et des prairies (38.79 %). Seulement 2.75 % du territoire sont représentés par des forêts et 2.85 % par de l'urbanisation. La forte occupation agricole du territoire influe tout particulièrement sur la qualité et la quantité d'eau disponible dans la Vaige.

ESPECE ETUDIEE : *UNIO CRASSUS COURTILLIERI*

Ecologie

La Mulette épaisse apprécie les cours d'eau présentant de faibles contraintes de cisaillement et des fortes proportions de sédiments fins et de matière organique. Elle s'établit indifféremment dans le lit des cours d'eau ou dans les berges, sous la végétation.

Biologie

L'alimentation s'effectue par filtration via les siphons. Chaque individu filtre ainsi de 3,3 à 4,1 L par heure, soit 79,2 à 98,4 L par jour (Kryger et Riisgard, 1988). La nourriture principale sera certainement le phytoplancton (Mutvei et Westermark, 2001). L'étude menée par Zajac et Zajac en 2011 a mis en évidence qu'un individu adulte était capable de se déplacer par ses propres moyens, jusqu'à 9m en 85 jours. Elle a aussi démontré que les individus n'étaient pas tributaires du courant et pouvaient même le remonter.

D'après l'ouvrage « Naïades et autres bivalves d'eau douce de France, Biotope Editions, Vincent Prié, 2017 », la longévité de l'espèce est estimée entre 8 et 50 ans selon les populations. La maturité sexuelle est atteinte au bout de 2 à 4ans, les sexes sont séparés, avec, selon Vincent Prié, 2017, un ratio équilibré entre mâles et femelles.

Reproduction

Morphologie

Longueur : 3 à 8 cm

Forme générale : ovale

Péριοstracum : verdâtre à noir

Dent cardinale : épaisse, élevée et denticulée

Figure 3: Morphologie d'*Unio crassus courtillieri*, source :

clé d'identification des naïades du bassin de la Loire,

A.THOMAS.



La Mulette épaisse a un cycle de vie complexe comprenant un hôte (cf figure 4). Entre avril et juillet, (1) les individus mâles matures lâchent leurs spermés dans le milieu aquatique puis suit leurs captage par les femelles. *Unio crassus* étant une espèce tachytictique (espèce présentant un délai entre le frai et l'expulsion des glochidies), une phase d'incubation (stade marsupial) a lieu. (2) Les femelles relâchent, ensuite, leurs glochidies (forme larvaire parasitaire d'une taille de 220x195 µm) dans l'eau, suivant la température. Il est important de noter qu'*Unio crassus* peut se reproduire plusieurs fois dans la même saison et que chaque femelle peut produire entre 9 000 et 380 000 glochidies à chaque évènement reproductif (Engel et Wächtler, 1989 ; Taeubert et al., 2012). A l'inverse, selon Hochwald (2001) certaines femelles peuvent ne pas se reproduire pendant une année. Les femelles sont capables de se déplacer vers les berges, proches de la surface, pour cracher un jet d'eau en l'air contenant les glochidies, ce qui attire les poissons-hôtes leur faisant croire qu'un insecte se pose sur l'eau (Vincentini, 2005). La durée de vie d'une glochidie dérivant dans l'eau est d'environ trois jours (Hochwald, 2001).

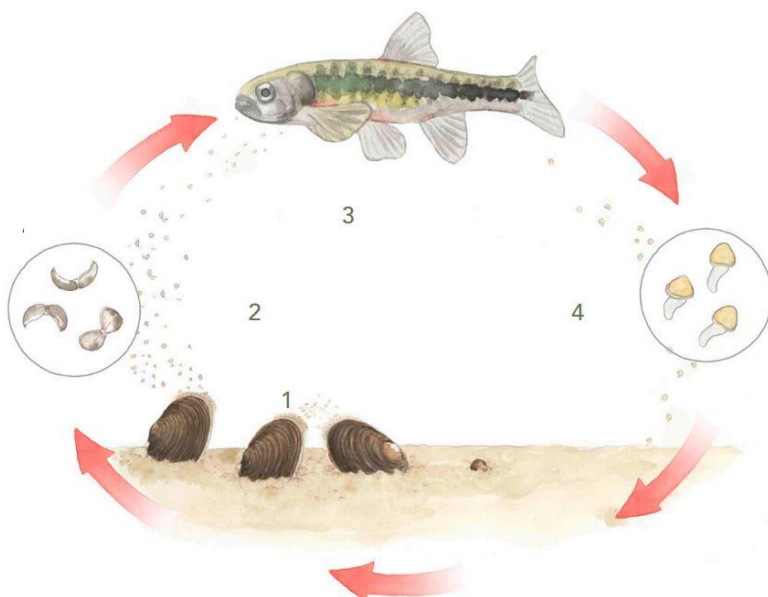


Figure 4 : Cycle de vie d'*Unio crassus*

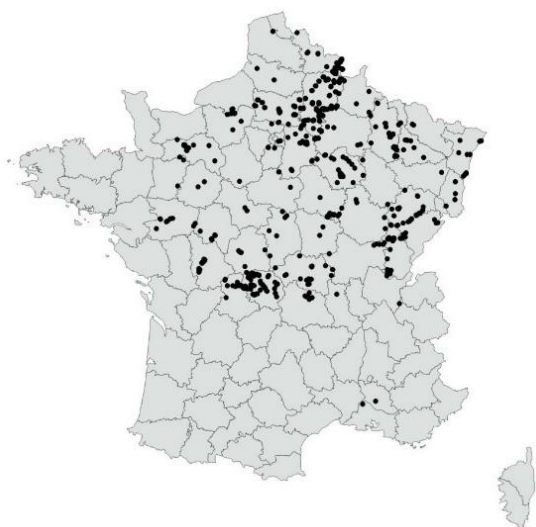
© NATURCENTRUM AB

Une fois les glochidies libérées dans le milieu, elles vont s'enkyster sur les branchies de leurs poissons hôtes (3). Elles peuvent néanmoins se fixer sur les ouïes, les yeux, le nez et les nageoires. Toutefois, seules celles enkystées sur les branchies arriveront à terme (Engel et Wächtler, 1989). La durée d'enkystement d'une glochidie, suivant la température, est de 20 à 50 jours pour un parasitisme fructueux (Taeubert et al, 2012 ; Douda et al, 2012).

Les poissons-hôtes potentiels et identifiés sont au nombre de dix-huit, permettant ainsi à *Unio crassus* d'augmenter ses chances de reproduction fructueuse et de coloniser une grande diversité d'habitats (Bauer, 1994 ; Taeubert et al., 2012). Il ne s'agit que d'espèces potamoques. Les poissons-hôtes primaires sont : *Squalius cephalus*, *Phoxinus phoxinus* et *Scardinius erythrophthalmus*. Les poissons-hôtes secondaires sont : *Cottus gobio*, *Gasterosteus aculeatus*, *Perca fluviatilis* et *Leuciscus idus*. Ensuite les autres poissons-hôtes sont par exemples : *Pungitius pungitius*, *Leuciscus leuciscus*, *Salmo trutta* et *Rutilus rutilus*. Ces différentes espèces de poissons-hôtes sont caractéristiques de plusieurs zones piscicoles d'après Huet (1959), en effet, deux zones sont mises en évidence : la zone à Truite (Vairon, Chabot, Truite) et la zone à Barbeau (Chevaine, Rotengle, Perche fluviatile, Vandoise et Gardon). En addition, d'après Verneaux (1973) et sa structuration biologique d'un cours d'eau, les espèces de poissons-hôtes se retrouvent tout au long du cours d'eau, autant en B0 (Chabot) qu'en B6 (Epinoche, Perche fluviatile et Gardon). Ainsi, on remarque que la

communauté de poissons-hôtes d'*Unio crassus* se déploie sur tout le gradient amont-aval de la rivière, allant du crénon au potamon. (cf. Annexe n°2)

La croissance de la larve est très marginale durant le temps d'enkystement puisqu'elle passe d'une taille de 220 µm à 230 µm (Taeubert *et al.*, 2012). Cette faible croissance laisse penser que cette phase est plus phorétique (type d'interaction entre deux organismes où un individu (le phoronte) est transporté par un autre (l'hôte)) que nutritive (Vrignaud, 2016). Néanmoins, après 3 à 5 semaines d'enkystement, (4) une jeune moule est libérée et elle ira s'enfouir dans le substrat (Zettler et Jueg, 2001). Les jeunes mulettes remontent ensuite à la surface du substrat à leur maturité sexuelle. Sur toute la quantité de glochidies produites annuellement par une femelle, enkystées puis libérées, le taux de survie est inférieur à 0.01% (Zettler et Jueg, 2001).



Conservation

Unio crassus était autrefois considérée comme la Naïade la plus abondante en Europe, à la vue de son déclin estimé à 50%, elle est classée comme « Vulnérable » en Europe et « En danger » en France. La Mulette épaisse est également listée aux annexes II et IV de la Directive Habitats / Faune / Flore. Les menaces principales seraient le dragage, la diminution en poissons-hôtes et la prédation par le Rat musqué et le Ragondin.

Figure 5 : Répartition française d'*Unio crassus*, source : Gargominy, O., Léonard, L., Prié, V. Cucherat, X. 2016. De l'utilité d'un inventaire national. MalaCo, 12 : 67-87

METHODES D'INVENTAIRES

Ce projet vise à caractériser le peuplement d'*Unio crassus* sur la rivière de la Vaige. Pour ce faire, aucune méthode n'est normalisée mais celles utilisées proviennent de malacologues français, entre autres : Vincent Prié, Xavier Cucherat, Florent Lamand ou encore Franck Noël ; ou d'études effectuées sur d'autres territoires (exemple : « Biotope, Elaboration d'un plan de gestion pour la Mulette épaisse dans le cadre du LIFE+ « Continuité écologique » LIFE10NAT/FR/A92 – Action A3-2012-1-1, Parc naturel régional du Morvan»). Préalable à ce projet, une autorisation de dérangement d'espèces protégées a été déposée auprès de la Direction Départementale des Territoires de la Mayenne. Celle-ci a été acceptée le 27 mars 2019 par l'arrêté n°2019081-001N.

1- Inventaire des coquilles vides

L'inventaire des coquilles vides de Mulette épaisse est chronophage et demande une bonne connaissance de la rivière. Deux étapes constituent cet inventaire, la première étant la récolte des coquilles et la deuxième étape étant l'identification à l'espèce.

1- La récolte

La recherche des coquilles vides est faite visuellement en se déplaçant le long des berges à une allure lente, de l'aval vers l'amont de la rivière. Les coquilles sont plus facilement repérables lorsqu'elles sont ouvertes, face nacrée vers le haut. Généralement, les coquilles vides sont échouées sur le bord de berge ou sur l'amont des radiers, ce qui rend la recherche plus aisée. Une fois que des coquilles ont été trouvées, elles sont intégralement récoltées dans un sac plastique étiqueté et numéroté, puis un point GPS est relevé avec comme identifiant le numéro du sac de récolte.



Figure 6 : Recherche à vue des coquilles de bivalves sur la rivière de la Vaige (source photo : AG©)

2- L'identification

Vu la difficulté d'identification des coquilles surtout entre *Unio crassus* et *Unio mancus*, celle-ci se déroule au bureau à l'aide de clés de détermination et d'une loupe x10. L'identification est réalisée par sac, c'est-à-dire qu'un seul sac à la fois est trié, afin d'éviter les mélanges et donc les erreurs de relocalisation des échantillons. Une fois l'identification avérée, chaque coquille de Mulette épaisse est mesurée dans sa longueur et annotée. La mesure de la coquille est effectuée dans le but d'avoir une idée de l'âge des spécimens.



Figure 7: Coquilles types de bivalves récoltées, AG©



Figure 8: Mesure des coquilles, AG©



Figure 9: Etats types des coquilles récoltées, AG©

2- Identification des tronçons favorables à la présence de population(s) vivante(s)

A la suite de l'étape 1, concernant l'inventaire des coquilles vides, il est possible d'identifier des tronçons de rivières semblant favorables à la présence de population(s) vivante(s) d'*Unio crassus*. L'inventaire des coquilles vides permet de réduire les zones de prospection des individus vivants. En effet, si des coquilles sont trouvées à une station, alors une population est ou était forcément présente en amont de la zone de dépôt, étant donné que les coquilles ont été transportées plus ou moins loin en aval de la population, par le courant. Un tronçon considéré comme

favorable est caractérisé par une succession de stations présentant au minimum 3 coquilles dont des coquilles à deux valves et/ou avec des nacres fraîches (marque la fraîcheur de la coquille) de l'espèce cible.

3- Localisation des populations vivantes au bathyscope

L'inventaire des individus vivants d'*Unio crassus* est plus compliqué que celui des coquilles vides. Plusieurs étapes sont nécessaires pour sa réalisation.

1- Prospection

Les efforts de prospection des individus vivants sont concentrés au niveau de troçons semblant favorables à la présence de population(s) vivante(s) d'*Unio crassus*.

La détection des individus vivants s'effectue à l'aide d'un bathyscope, permettant de voir clairement le substrat et donc de pouvoir repérer les individus. Les individus visés par cette technique sont les adultes, notamment détectables grâce à leur siphon dirigé vers la surface, qui sont partiellement enfouis dans le substrat. En effet, cette technique ne permet pas de détecter l'ensemble de la population puisque certains individus adultes peuvent être complètement enfouis et les juvéniles sont, quant à eux, enfouis totalement dans le substrat pour une durée moyenne de 3 à 4 ans. Néanmoins, pour avoir un maximum de chance de détecter des individus, la prospection s'effectue de manière à recouvrir intégralement la zone à prospecter. (cf figure 10)

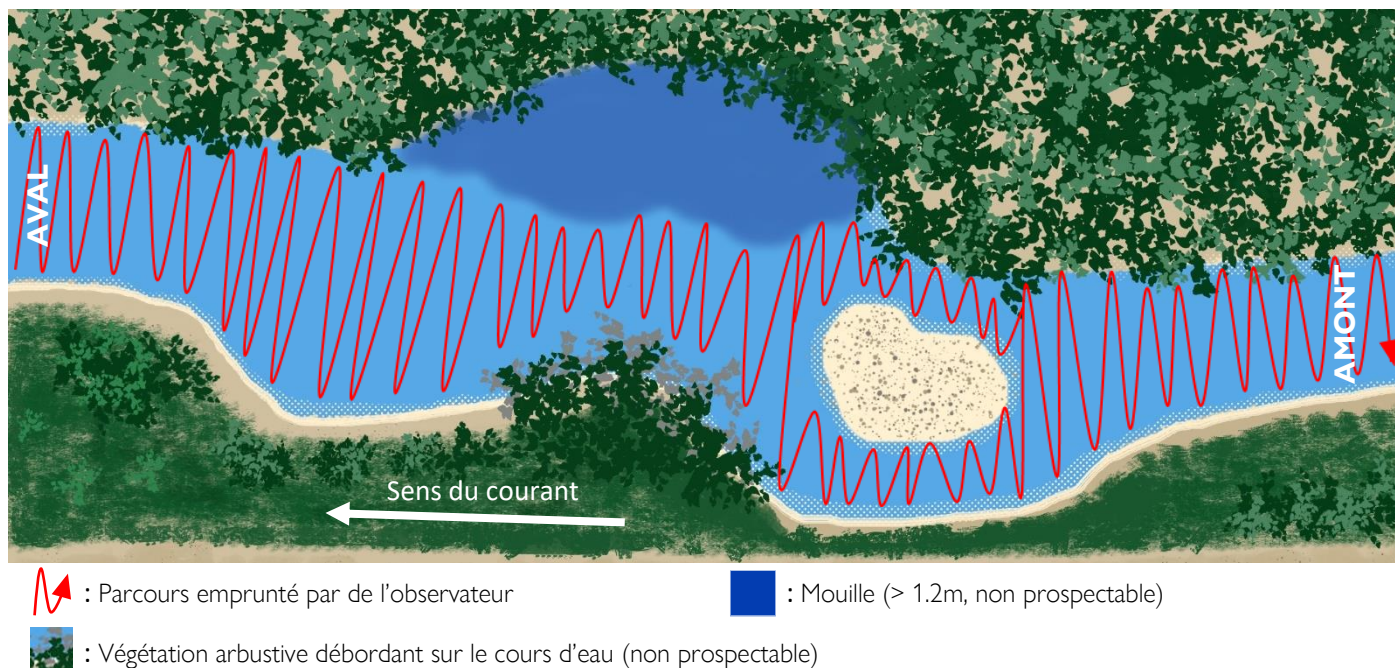


Figure 10: Schématisation de la méthode de prospection des individus adultes vivants (d'après VRIGNAUD S., 2016)

2- Biométrie

Chaque individu est pesé et mesuré grâce à un pied à coulisse (précision au 0.05cm) et une balance (précision au 0.01g). Toutes ces informations sont notées sur une fiche de terrain et retranscrites sur excel et transférées sur un logiciel de système d'information géographique (QGIS).

Les étapes de biométrie doivent se dérouler dans un temps court (2 minutes maximum par individu) afin de minimiser la perturbation de l'individu. A leurs suites, l'individu manipulé est repositionné correctement (siphon dirigé vers la surface) et au point même de son prélèvement.

4- Caractérisation du peuplement ichthyologique par pêche(s) électrique(s)

Unio crassus est un bivalve dulcicole dépendant du peuplement piscicole de la rivière. La littérature indique que les poissons-hôtes de la Mulette épaisse sont au nombre de dix-huit. Les espèces de poissons-hôtes primaires sont *Squalius cephalus*, *Phoxinus phoxinus* et *Scardinius erythrophthalmus*, ce sont les espèces qui seront recherchées en priorité. Les pêches électriques s'effectuent en fin de période de reproduction de l'espèce cible (mai à juillet) afin d'appréhender le peuplement piscicole présent sur plusieurs tronçons de la rivière de la Vaige (espèces et âges) et de confirmer ou infirmer l'enkystement des glochidies de bivalves sur les poissons-hôtes d'*Unio crassus*.

Pour la mise en œuvre des actions de pêches électriques sur la rivière de la Vaige, le SBeMS a sous-traité avec la FDPPMA53. Cette action consiste à soumettre les poissons à un faible champ électrique qui les attire et les tétanise temporairement. Ce laps de temps permet de les capturer à l'épuisette et de les maintenir en vivier afin

de réaliser leur biométrie. Les pêches électriques partielles sont réalisées à pied, sur une longueur de station correspondant à 20 fois la largeur du cours d'eau conformément à la norme européenne de 2003 relative à l'estimation de la composition et de l'abondance des espèces piscicoles (NF EN 14011). Le protocole de pêches électriques partielles est détaillé dans le « Guide pratique de mise en œuvre des opérations de pêche à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi des peuplements de poissons ; ONEMA, 2012 ».

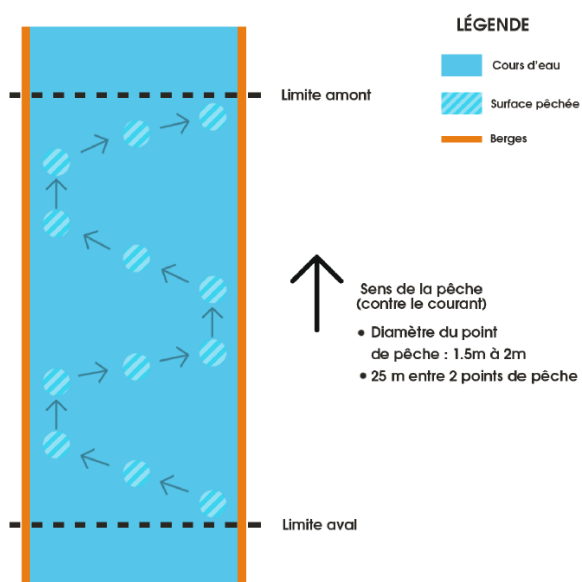


Figure 11 : Schéma de mise en œuvre des pêches électriques par points

Les pêches sont réalisées sur trois tronçons situés sur la partie potamon de la Vaige. Ces stations sont choisies par rapport à l'abondance de Mulette épaisse vivantes présentes sur site. Le tronçon « La Glacière » correspond à une station avec une dense population (24 individus) de Mulette épaisse, le tronçon « Guyollier » correspond quant à lui à une station avec une population moyennement dense (13 individus), enfin le tronçon « Brisanne » correspond à une station exempte du genre *Unio*.

Les pêches sont mises en œuvre par quatre personnes habilitées, à l'aide d'un appareil léger portable alimenté par une batterie (type "Martin pêcheur"). Tous les poissons capturés sont déterminés, dénombrés et mesurés. Ces données permettent de connaître précisément la composition du peuplement ichthyologique et la dynamique des populations en analysant les différentes classes d'âge. A la suite du poste de biométrie, les branchies des poissons

hôtes d'*Unio crassus* sont examinés grâce à une loupe de poche (Gx10). Pour ce faire, il suffit de décoller l'opercule de l'ouïe afin d'atteindre visuellement les branchies (Cf figure n°12). Si des points blancs sont observés à l'intérieur des lamelles branchiales, cela induit que des glochidies sont probablement enkystées. Les poissons enkystés sont alors conservés et récupérés par Franck NOEL dans le but d'être réexaminés le soir même sous microscope afin de déterminer s'il s'agit réellement de glochidies enkystées et s'il s'agit du genre *Unio* (différenciation entre le genre *Anodonta* et *Unio* par la taille des glochidies et leur forme).



Figure 12: Manipulation des poissons pour l'observation des glochidies enkystées, AG©

5- Caractérisation de l'habitat

La caractérisation de l'habitat est la dernière étape de ce projet. Elle consiste à mettre en évidence les conditions biotiques et abiotiques, du milieu, favorables à la présence de Mulette épaisse vivantes sur la rivière de la Vaige. Plusieurs relevés sont nécessaires pour caractériser au mieux l'habitat adéquat pour le développement de l'espèce cible. Ces protocoles de relevés sont extraits du protocole Carhyce (Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau). Cette caractérisation vise à acquérir des informations sur le taux d'oxygénation, le pH, la vitesse du courant, la granulométrie préférentielle ou encore la présence/absence de végétation aquatique et rivulaire.

1- Substrat minéral (méthode Wolman)

La granulométrie est mesurée en prélevant du substrat sur une station présentant des individus *Unio crassus* vivants. Afin d'avoir une représentativité correcte du substrat de la station, les consignes du protocole Carhyce sont appliquées : « Cent éléments sont prélevés sur le radier identifié, en appliquant un échantillonnage de type systématique : dix traversées équidistantes sont réalisées de la tête au pied du radier, de sorte à couvrir l'ensemble du faciès. Sur ces traversées, un élément est prélevé tous les 1/10 de la largeur mouillée. En cas de radier de très petite taille, seuls cinquante éléments sont prélevés et mesurés. En l'absence de radier, un plat courant sera ciblé. S'il n'y a ni radier ni plat courant sur la station, cet atelier ne sera pas réalisé. » Un élément du substrat est mesuré dans sa largeur comme dessiné sur le schéma ci-contre, grâce au gabarit fourni dans le protocole Carhyce et un pied à coulisse.

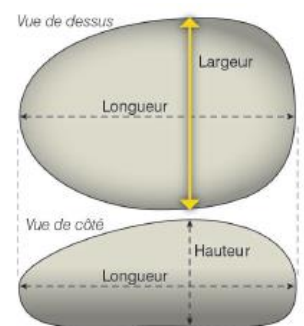


Figure 13 : Schéma de la mesure du substrat

2- Substrat additionnel

Sur chaque station, la présence de substrat additionnel est précisée, et ce en plus de la granulométrie. Pour être prise en compte, la surface minimale d'un substrat doit au moins être égale à 0,02 m² (soit une surface de 20 cm x 10 cm). Les éléments ainsi observés sont décrits d'après le protocole Carhyce en utilisant la typologie suivante en six classes (plusieurs choix possibles) : CR/Chevelu racinaire, VS/Végétation surplombante, DL/Débris ligneux

« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

grossiers, VA/Végétation aquatique, PD/Pool détritique (accumulation de matière organique particulaire grossière : feuilles mortes, écorce,...), BR/Blocs rocheux.

3- Zone riparienne

Les berges des deux rives (RD et RG) sont décrites en indiquant la nature des matériaux les plus représentatifs qui les constituent, ceci en utilisant la typologie suivante (un choix possible) : MNt/Matériaux naturels (terre), MNs/Matériaux naturels (sable), MNr/Matériaux naturels (roche mère), AV/Aménagements végétalisés, ER/Enrochement, MA/Matériaux artificiels.

La végétation rivulaire (RD et RG) est finalement notée en fonction de l'ombre qu'elle apporte sur le cours d'eau, seules les strates arbustives et arborescentes sont prises en compte, suivant la typologie ci-après. R/Pas de ripisylve, Ra/Ripisylve arborée continue ou discontinue (ombre partielle), Rad/Ripisylve arborescente discontinue (ombre partielle), Rac/Ripisylve arborescente continue (ombre totale).

4- Les faciès

Les faciès sont identifiés sur la base de la typologie Malavoi et Souchon 2002. Pour chaque transect, noter le faciès dominant suivant son appartenance à l'un des quatre types de faciès simplifiés puis l'un des onze types de faciès majeurs et secondaires (Cf annexe n°3).

5- Les mesures hydrochimiques (pH, O₂ dissous, conductivité)

Les trois mesures effectuées sont les suivantes :

- **Mesure de la concentration (en mg.L⁻¹) et saturation (%) d'O₂ dissous** : Elle évalue la quantité disponible en O₂ pour les organismes aquatiques. Cette mesure est très importante à prendre en compte pour apprécier la totalité des caractéristiques physico-chimiques du milieu. Ainsi, la quantité de dioxygène dissous va agir sur la mobilité des autres éléments chimiques qui sont sous forme oxydée en présence d'O₂. Elle est tributaire d'autres variables telles que l'activité biologique et la vitesse d'écoulement de l'eau. (NFEN25814 ISO5814)
- **Mesure de la conductivité (en µs/cm)** : Elle détermine la minéralisation du cours d'eau (masse d'ions dans le volume d'eau étudié) et donc le courant induit par les ions présents dans la solution. (NFEN2788 ISO7888)
- **Mesure du pH (en unité pH)** : Elle détermine le caractère acide ou basique de l'eau en fonction de la concentration en ions H⁺ de la solution. La solution est dite acide quand la mesure est inférieure à 7 ; si le pH est supérieur à 7 la solution est dite alcaline (ou basique). A pH 7, nous parlons de pH « neutre ». (NFT90-008).

Dans le même temps, la température de l'eau est relevée.

1- Inventaire des coquilles vides

Sur les cinquante-trois kilomètres prospectés à pieds, 65 radiers, 16 réfectoires, 35 plats courant et 7 plats lenticules ont fait l'objet de points de récoltes de coquilles de bivalves. La cartographie en figure n°14 montre l'emplacement géographique des points de récolte et la quantité de coquilles d'*Unio crassus* ramassée sur chacun de ces points. 94 d'entre eux présentent des coquilles d'*Unio crassus* (Cf. figures 14 et 16, Annexe n°4), les points ne présentant pas de coquilles d'*Unio crassus* sont mentionnés par des points de couleur blanche sur la cartographie ci-dessous. Il est, tout de même, important de les faire apparaître car ils nous apportent des indications sur les zones à prospecter puisque généralement, les radiers se succèdent. On observe ainsi que la quantité de coquilles diffère très largement d'un point à un autre (Cf figure 14). La cartographie ci-contre et les deux zooms sont disponibles en annexes 4, 5 et 6.

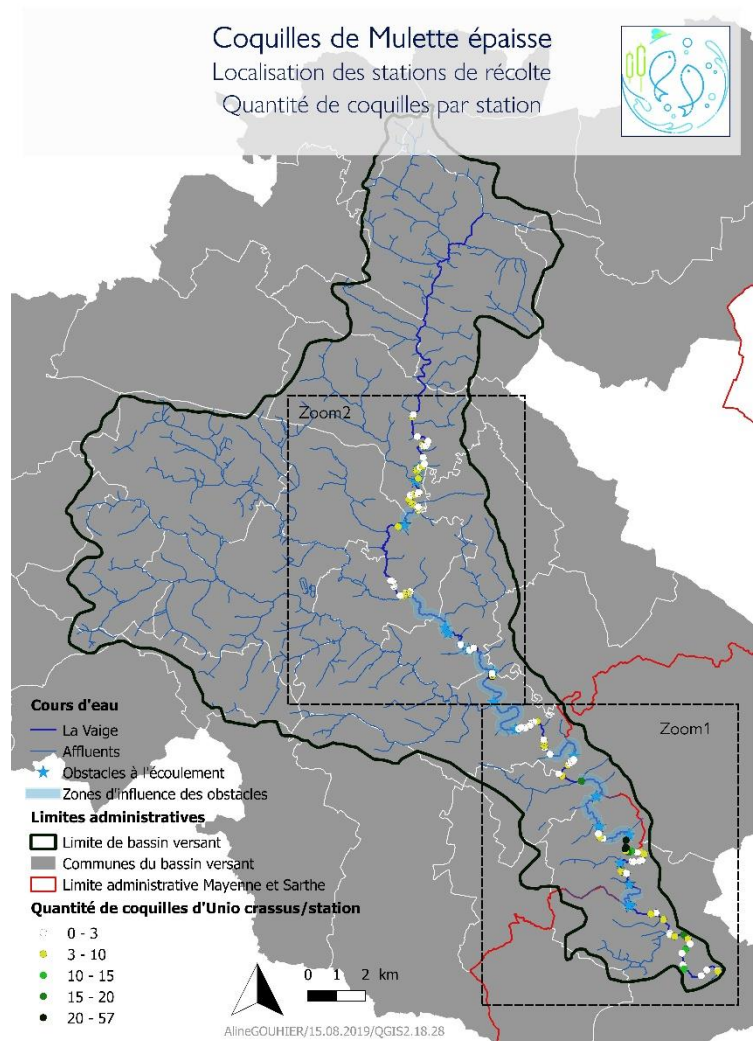


Figure 14 : Cartographie des stations de récoltes des coquilles d'*Unio crassus* - Vaige

L'état des coquilles se juge par plusieurs critères ; une coquille "neuve" sera potentiellement à deux valves et la nacre intérieure sera fraîche ; tandis qu'une coquille considérée comme plus ancienne sera automatiquement à une valve et la nacre intérieure sera ternie voir colorée en marron (Cf figure 9). Il a été choisi de ne représenter que la différence « coquilles à une valve / coquilles à deux valves » sur le graphique de la figure 15 et Annexe n°7, par un souci d'explicité. Néanmoins, le critère de la fraîcheur de la nacre est pris en compte lors des étapes suivantes. Enfin, les coquilles retrouvées sur des réfectoires datent certainement de l'hiver 2018/2019, période où les Ragondins et Rats musqués les consomment par manque de végétation.

Au total, ce sont 2221 coquilles de bivalves dont 561 coquilles d'*Unio crassus* qui ont été ramassées sur les 53 km de linéaires prospectés. Parmi ces 561 coquilles, seules 149 sont à deux valves et 112 arborent une nacre « fraîche ».

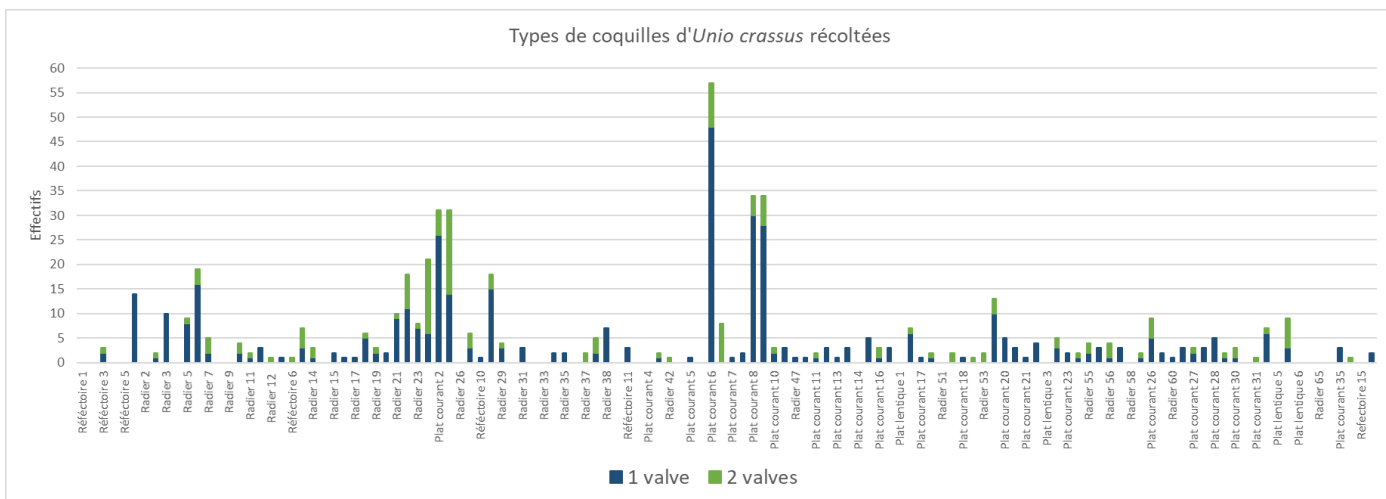


Figure 15 : Diagramme des types de coquilles d'*Unio crassus* récoltées

Sur chaque point de récolte, toutes les coquilles de bivalves contactées ont été ramassées. On remarque que quatre espèces et un genre (*Anodonta*) cohabitent tout au long des 53 km de la Vaige (Cf figure 15 et Annexe n°8). Il s'agit d'*Unio crassus* (561 coquilles soit 25.26 %), *Unio mancus* (582 coquilles soit 26.20 %), *Potomida littoralis* (293 coquilles soit 13.19 %), *Corbicula fluminea* (2 coquilles soit 0.09%) et *Anodonta* sp (451 coquilles soit 20.31 %). Tout d'abord, on remarque que le genre *Anodonta* est présent sur l'ensemble des points, tandis que les autres espèces sont plus restreintes. De plus, *Corbicula fluminea* n'a été trouvée que sur un seul point. Ensuite, deux autres espèces cohabitent plus ou moins avec *Unio crassus*. En effet, on observe qu'*Unio mancus* est quasiment toujours présent quand *Unio crassus* est là ; tandis que lorsqu'il y a *Potomida littoralis*, cette espèce est présente en majorité, *Unio mancus* est absente et *Unio crassus* est parfois présente mais en faible effectif.

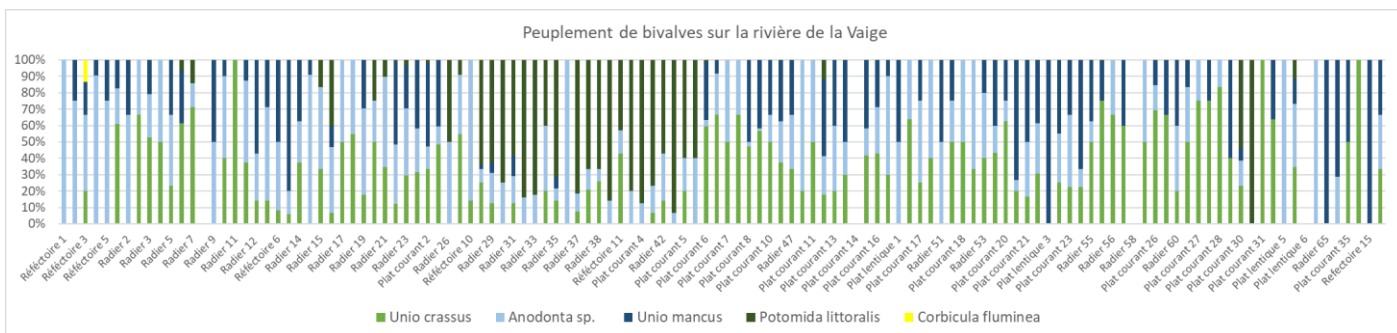


Figure 16 : Diagramme du peuplement de bivalves - Vaige

2- Identification des tronçons favorables à la présence de population(s) vivante(s)

D'après la quantité de coquilles retrouvée par point de récolte et leur état physique (nacre, 1 ou 2 valves), 17 tronçons sont identifiés comme favorables à la présence de populations vivantes, avec des tronçons plus peuplés que d'autres, ce qui orientera les étapes suivantes. La cartographie en figure 17 et annexes n° 9, 10 et 11, ci-dessous, montre les transects ayant une probabilité d'accueillir une ou des populations vivantes d'*Unio crassus*. Ce résultat provient du fait qu'un tronçon considéré comme favorable présente des points de récoltes ayant plus de

3 coquilles et qu'il y a présence de coquilles à deux valves. En addition, les tronçons sont classés du moins au plus favorables à la présence d'individus vivants de Mulette épaisse. Par un classement personnel, les tronçons indicés 1 semblent « assez favorables » puisqu'il y a eu entre 3 et 10 coquilles ramassées sur les points de récolte. Ceux indicés 2 sont notés comme « favorables » et correspondent à des points où 10 à 15 coquilles ont été ramassées. Enfin les tronçons indicés 3, notés « très favorables » concordent avec des points de récoltes de 15 à 20 coquilles. Pour finir, les tronçons indicés 4 et notés « présence certaine » coïncident avec des récoltes supérieures à 20 coquilles d'*Unio crassus*. A remarquer que l'ensemble des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d'*Unio crassus* se situent en zone d'écoulement naturel sans influence d'ouvrages.

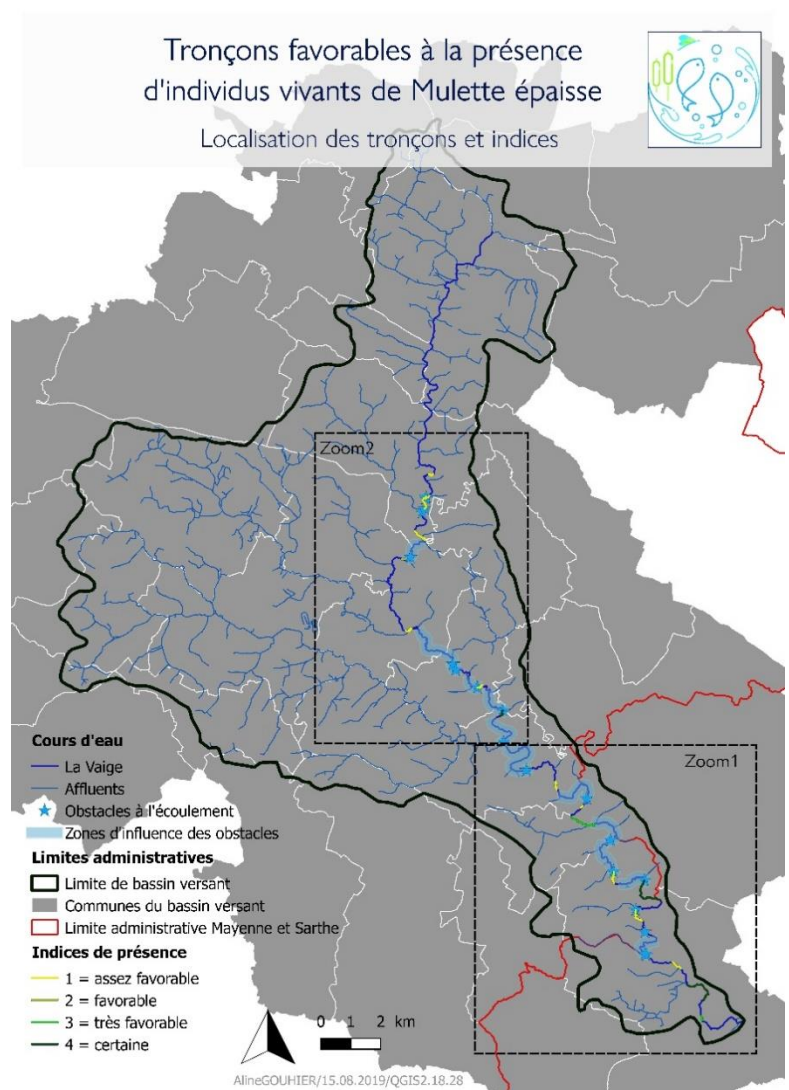


Figure 17 : Cartographie des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d'*Unio crassus* - Vaige

3- Localisation des populations vivantes au bathyscope

10 tronçons favorables à la présence de populations vivantes ont été prospectés, 6 présentent des individus vivants. Sur ces 6 tronçons, des naïades vivantes ont été trouvées sur 12 stations (1 station = 1 regroupement d'individus). Parmi les 330 individus vivants, 50 sont des *Unio crassus* (cf Annexe n°12). Ce taxon représente la troisième espèce observée, très nettement après *Unio mancus* avec 213 individus. (Cf figure 18). La Mulette épaisse est présente seule sur 3 stations. Le reste du temps, elle est accompagné par *Unio mancus* et/ou *Anodonta sp.* Il ressort néanmoins **8 stations** où des individus vivants de

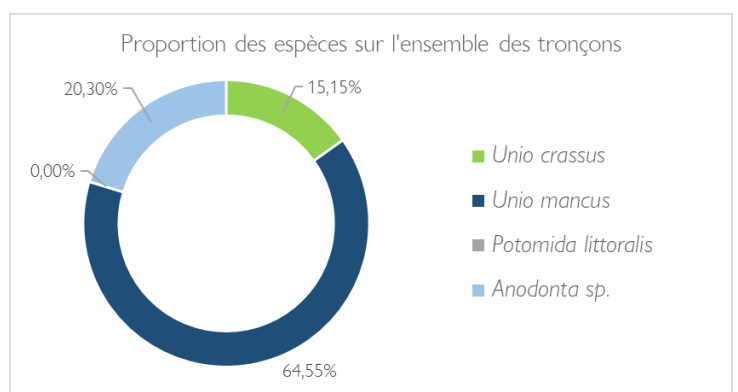


Figure 18 : Proportion des espèces de naïades sur l'ensemble des tronçons prospectés - Vaige

Tableau 1 : Espèces accompagnatrices d'*Unio crassus* - Vaige

Espèces accompagnatrices	Nombre de stations	Pourcentage
<i>Unio crassus</i> seule	3	37,50%
Avec <i>Unio mancus</i>	5	62,50%
Avec <i>Potomida littoralis</i>	0	0,00%
Avec <i>Anodonta sp.</i>	3	37,50%

Mulette épaisse sont présents (Cf figure 20 et Annexes n° 13 et 14). Sur l'ensemble des 8 stations, l'âge des individus a été évalué approximativement, les résultats sont représentés par la figure 19 ci-contre. On note qu'aucun individu de moins de 6 ans n'a été observé tandis que l'individu le plus ancien aurait 20 ans.

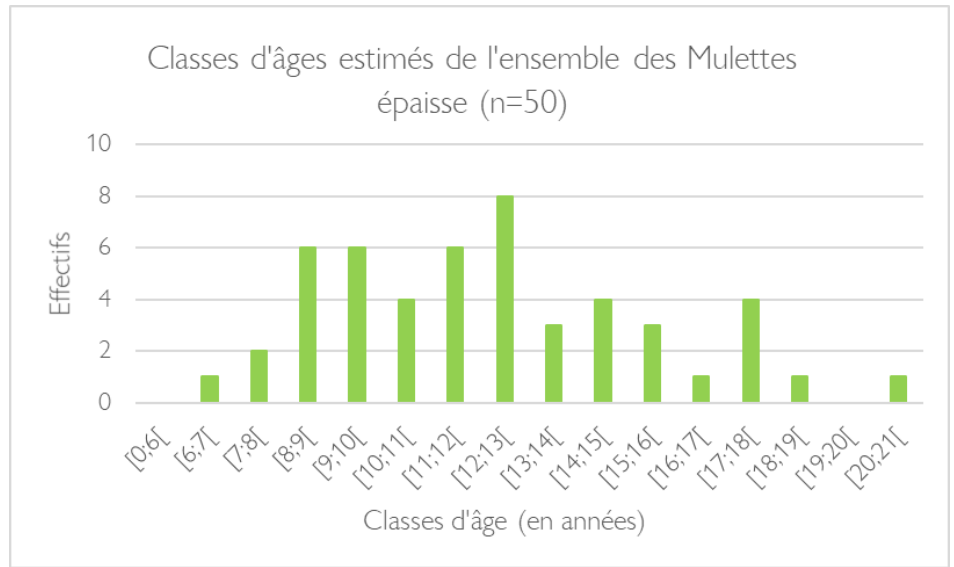
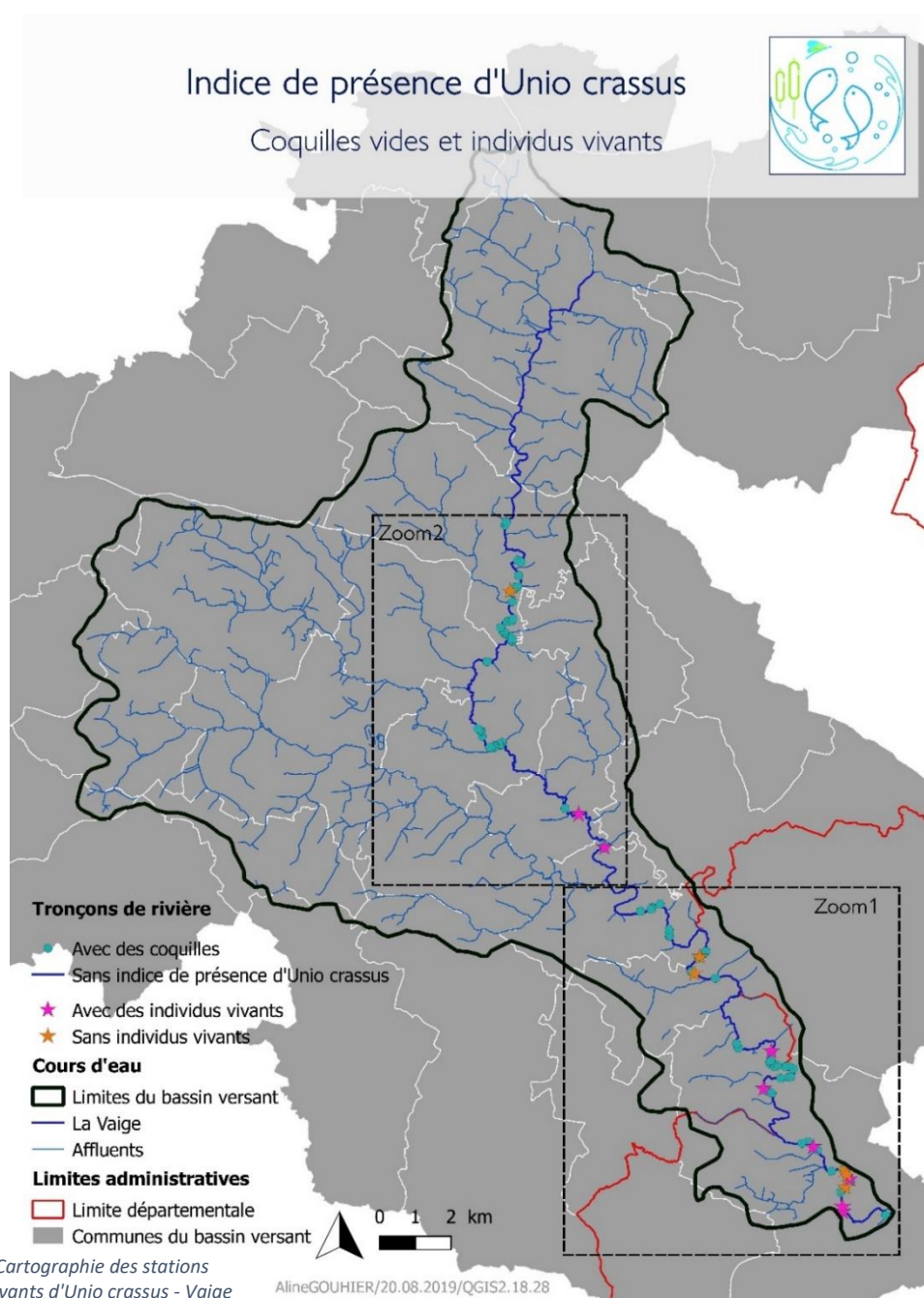


Figure 19: Diagramme des classes d'âges estimés de l'ensemble des individus d'*Unio crassus* observés - Vaige



« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

Le lundi 22 juillet 2019 se sont déroulées les trois pêches électriques sur la rivière de la Vaige. Les trois tronçons situés sur la partie potamon de la rivière, ont une morphologie d'écoulement, un débit, un substrat et une ripisylve similaires. Nous observons tout de même quelques différences au niveau des peuplements piscicoles (Cf figure 21). Le graphique ci-contre met en exergue la dominance du Vairon sur les trois tronçons prospectés.

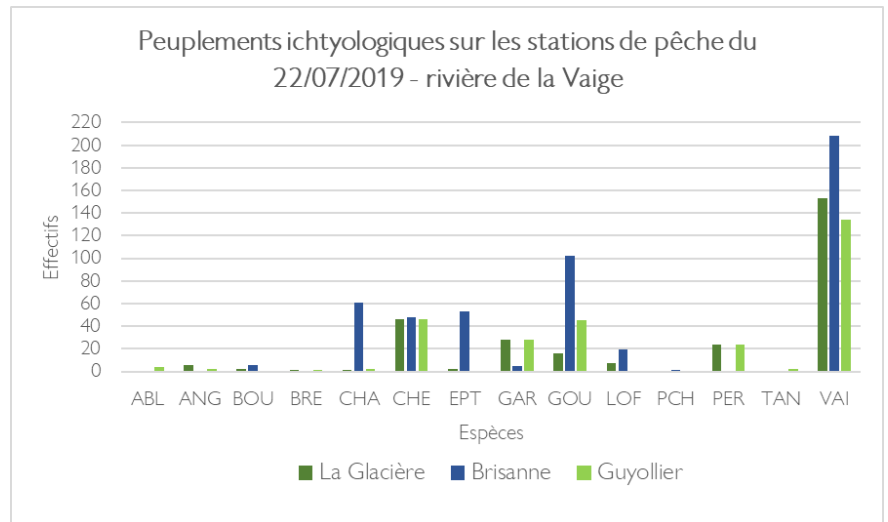


Figure 21: Diagramme des peuplements ichthyologiques sur les 3 stations de pêches électriques du 22/07/19 - Vaige

Les trois populations de Chevaine sont similaires. Les populations des autres espèces diffèrent nettement entre les trois tronçons.

Le deuxième but de ces pêches électriques étant de vérifier l'enkystement de glochidies chez les poissons-hôtes de la Mulette épaisse (Cf figures 22 et 23), dans la mesure du possible la majorité des individus concernés ont été examinés. Au lieu-dit La Glacière, sur un total de 260 poissons-hôtes, 54 se sont révélés positifs à la présence de



Figure 22: Photographie au microscope optique d'un Vairon enkysté, FN©

glochidies enkystées lors d'un examen sur le terrain avec une large majorité de Vairon (79.63%). 14 des poissons-hôtes enkystés ont été placés dans l'alcool et ont été examinés au microscope optique en laboratoire par Franck NOEL. Ce sont alors 6 Vairons et 1 Chevaine qui s'avèrent être enkystés avec une médiane de 5 glochidies par poisson. Néanmoins la détermination des glochidies n'a pu être menée au genre. Dans ce cas nous ne pouvons pas affirmer qu'il s'agit de glochidies d'*Unio crassus* puisque *Unio mancus* et *Anodonta sp* sont présentes sur le tronçon.

Au lieu-dit Guyollier, sur un total de 236 poissons-hôtes, 171 ont été examinés sur le terrain et 63 se sont révélés positifs à la présence de glochidies enkystées avec une majorité de Vairon (58.73%). 36 des poissons-hôtes enkystés ont été placés dans l'alcool et ont été examinés au microscope optique. Ce sont alors 15 Vairons, 1 Epinochette et 1 Perche fluviatile qui s'avèrent être enkystés avec une médiane de 7 glochidies par poisson. De la même façon que pour le tronçon précédent, la détermination des glochidies n'a pu être menée au genre.

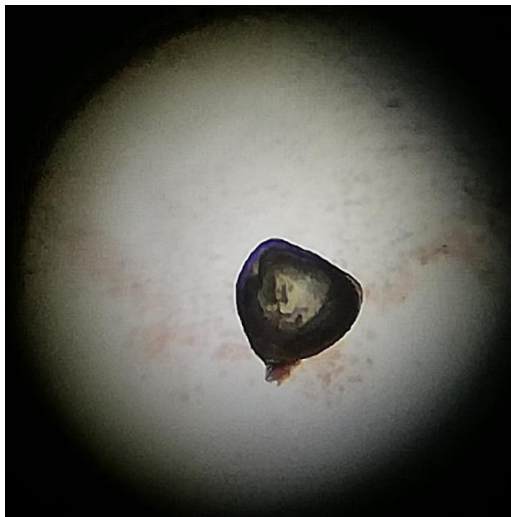


Figure 23 : Photographie au microscope optique d'une glochidie de naïade, FN©

Au lieu-dit Brisanne, sur un total de 375 poissons-hôtes, 117 ont été examinés sur le terrain et 51 se sont révélés positifs à la présence de glochidies enkystées lors d'un examen sur le terrain avec une large majorité de Vairon (74.50%). 12 des poissons-hôtes enkystés ont été placés dans l'alcool et ont été examinés au microscope optique. Ce sont alors seulement 2 Vairons qui s'avèrent être enkystés avec une médiane de 2 glochidies par poisson. De la même façon que pour les tronçons précédents, la détermination des glochidies n'a pu être menée au genre.

5- Caractérisation de l'habitat

Il est délicat de décrire le type d'habitat de la Mulette épaisse sur la rivière de la Vaige, puisque celle-ci présente des habitats peu variés avec une majorité de tronçons au substrat graveleux, une importante couverture végétale (ripisylve) et des berges abruptes en terre. Tout de même, lors des prospections, plusieurs paramètres ont été relevés.

Premièrement, la taille du substrat a été relevée par la méthode Wolman. Une courbe de la granulométrie présente dans les habitats de la Mulette épaisse a été réalisée pour faciliter le choix du substrat lors des travaux de restauration (Cf figure24).

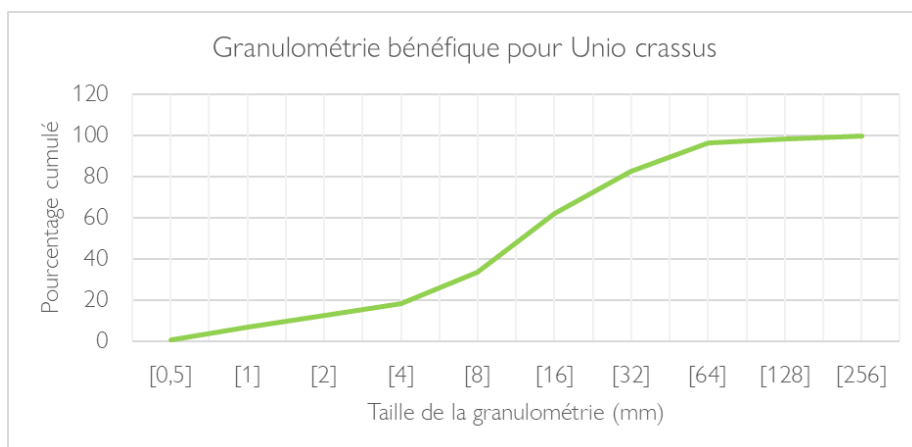


Figure 24 : Courbe de la granulométrie favorable à *Unio crassus* - Vaige

Tout d'abord, on observe alors que

la granulométrie favorable à *Unio crassus* semble être un mélange sablo-graveleux avec quelques blocs rocheux. Deuxièmement, la profondeur maximale où un individu de Mulette épaisse a été trouvé est de 410 mm en pieds de radier. La profondeur moyenne de présence d'*Unio crassus*, à l'étiage, est de 149 mm. Troisièmement, le substrat additionnel semble ne pas avoir d'influence particulière sur la présence de la Mulette épaisse, avec néanmoins à 85% du temps, la présence de pools détritiques. De plus, 2 stations présentent de la végétation aquatique notamment *Elodea sp*, *Potamogeton coloratus* et *Nupha sp*. Quatrièmement, le taux d'oxygène dissous (76%), la conductivité (545 uS/cm), le pH (7,2) et la température de l'eau (17.5°C) sont constants.

Enfin, concernant les berges, elles sont en matériaux naturels (terre) et 80% des stations sont composées d'une ripisylve arborescente continue, ce qui apporte un ombrage très important sur la rivière.

Bien que la Mulette épaisse soit qualifiée d'espèce plastique, concernant ses traits de vie, elle n'en est pas moins réellement menacée (Hochwald, 2001). C'est ce que nous confirme cette étude.

La première étape de ce projet visait à mettre en évidence des tronçons favorables à la présence d'individus vivants d'*Unio crassus*. Quand bien même Nagel *et al.* (2006) affirment que la Mulette épaisse est l'Unionidae qui se présente le plus en amont dans les cours d'eau, les 94 stations où ont été récoltées des coquilles d'*Unio crassus* ont permis de faire ressortir 17 tronçons favorables. Ceux-ci sont situés entre le rithron et le potamon de la rivière de la Vaige. La récolte des coquilles de bivalves a montré qu'*Unio crassus* est accompagné d'*Unio mancus*, *Potomida littoralis* et le genre *Anodonta*, tout au long du cours d'eau.

La deuxième étape de l'étude visant à rechercher les individus vivants sur les 17 tronçons précédemment mentionnés acquiesce les résultats obtenus lors de la première étape bien que seuls 10 tronçons n'aient pu être prospectés dans le temps imparti. *Unio crassus* ne représente que 15,15% du peuplement de bivalves. Seuls 50 individus ont été observés répartis sur 8 stations. Les densités peuvent être faibles et les régressions actuelles et passées de naïades ont appuyé cette situation (Strayer, 2008). De plus, par le faible taux de détection de chaque espèce (entre 0.24 et 0.38 suivant les espèces), quantité de tronçons peuvent être considérés à tort comme n'abritant aucun individu. Les observations de Zieritz *et al.* (2014) le confirment, un examen visuel peut ne révéler la présence que de 6% par rapport à la population totale. Nonobstant, les connaissances acquises sur les facteurs régissant les mouvements verticaux : la reproduction, les crues, le photopériodisme, le substrat ou encore le degré de perturbation ; indiquent que la période de frai est la plus propice à l'observation. De plus, cette période coïncide avec l'étiage ce qui, par le niveau d'eau bas, une température plus élevée et peu de matière en suspension, engendre une phase de filtration intense augmentant ainsi la probabilité de détection des individus. C'est à cette période que se sont déroulés les prospections pour cette étude, mettant ainsi toutes les chances de notre côté même s'il convient de prendre en compte que tous les individus n'ont probablement pas été observés.

Comme supposé après la récolte des coquilles, la Mulette épaisse est accompagnée d'au moins 2 espèces. Le genre *Anodonta* et l'espèce *Unio mancus* sont présents en même temps que *Unio crassus* sur plusieurs stations. La présence du genre *Anodonta* est due à son large panel de substrats affectionnés, aussi bien caillouteux que vaseux. *Unio mancus* est retrouvée sur 62.5% des stations où il y a *Unio crassus* car elles affectionnent les mêmes substrats, néanmoins la littérature mentionne qu'*Unio mancus* affectionne davantage les zones lenticules qu'*Unio crassus* qui ne sera présente qu'en zones lotiques. Nous pouvons néanmoins suggérer que l'espèce la plus associée à *Unio crassus* est *Unio mancus*. L'identification des communautés de bivalves présentes sur la rivière révèle l'état écologique de la rivière, notamment par rapport à son état de colmatage ou d'envasement, puisque chaque espèce

a un habitat privilégié. Comme l'indiquent les indicateurs d'état écologique de la Vaige à Beaumont-Pied-de-Bœuf en 2017 et au vu des espèces de bivalves présentes, la Vaige semble être une rivière globalement en bon état écologique pourtant classée comme étant en état médiocre (débit, morphologie, ...). De plus, l'identification des espèces accompagnatrices de la Mulette épaisse indique que cette dernière est en compétition avec d'autres espèces de bivalves, notamment avec la Mulette méridionale (*Unio mancus*) sûrement au point de vue nourriture et reproduction (poissons-hôtes).

Une population de naïades est considérée comme fonctionnelle lorsqu'une proportion de jeunes est supérieure à 20% et la densité de plus de 3 individus par m² (Stoeckl *et al.*, 2014). Or aucun individu de moins de 6 ans n'a été observé. Les individus d'*Unio crassus* contactés ont *a priori* entre 6 et 20 ans, avec un maximum d'individus entre 8 et 12 ans. En France, l'espérance de vie pourrait atteindre entre 20 et 30 ans selon Nagel (1991). Toutefois, Taeubert *et al.* (2012) estime qu'elle se situe plutôt entre 10 et 20 ans. Selon les dires du premier auteur, la Vaige profiterait d'une population résolument jeune avec seul 1 individu sénéscent. En opposition, selon Taeubert *et al.* (2012), la population serait nettement vieillissante avec 70% des individus ayant 10 ans et plus. Néanmoins, Hochwald (2001) a mis en évidence que la quantité de glochidies était également proportionnel à la taille et donc l'âge des individus. Ceci signifierait que la capacité de reproduction de la population présente sur la Vaige serait optimale.

Cependant, afin que la reproduction soit efficiente et qu'elle mène à des juvéniles fiables, un certain peuplement de poissons-hôtes est nécessaire. C'est pourquoi, des pêches électriques ont été menées sur plusieurs tronçons de la rivière. Le peuplement ichtyologique établi révèle la présence de 7 poissons-hôtes de la Mulette épaisse avec une majorité de Vairon. Or, en France, Lamand *et al.* (2016) ont mis en évidence que le Vairon et le Chabot sont les plus importants porteurs de glochidies d'*Unio crassus*. La présente étude confirme leurs propos puisque sur les trois stations échantillonnées, la majorité des poissons enkystés sont des Vairons. Ainsi, malgré que l'espèce des glochidies n'ait pas été identifiée, nous pouvons supposer qu'il s'agit tout au moins du genre *Unio*. La Mulette épaisse possède un large panel de poissons-hôtes, lui permettant ainsi d'augmenter ses chances d'une reproduction fructueuse et de coloniser une grande diversité d'habitats. Alors, la sensibilité au parasitisme, le comportement et l'abondance des poissons-hôtes sont les principaux facteurs conditionnant le succès reproducteur (Taeubert *et al.*, 2012). D'après Stoeckl *et al.* (2014), des concentrations minimales de poissons-hôtes primaires (Vairon, Chevaine, Epinoche) sont nécessaires pour une fonctionnalité des populations (densité supérieure à 3 individus au m² et une proportion de jeunes de plus de 20%). Pour prendre en exemple la station de pêche « Guyollier », la densité de poissons-hôtes est inférieure à 1 individu au mètre carré. Il en est de même pour les deux autres stations. De ce fait, les populations sembleraient ne pas être fonctionnelles sur les tronçons étudiés. De plus, comme le précisent ces mêmes auteurs, les vairons et les jeunes chevaines fréquentent les eaux peu profondes, ce qui favorise ainsi un recrutement local contrairement aux chevaines adultes qui sont moins

casaniers et favorisent donc une dissémination plus large. Lamand *et al.* (2016) ajoutent que le comportement des poissons-hôtes influe sur la reproduction et la dissémination. Cependant, Blazek et Gelnar (2006) rappellent qu'une immunité semble être acquise à la suite de la primo-infection. Donc, la dissémination d'*Unio crassus* semble être plus souvent locale. Enfin, certains auteurs ont montré que la régression de poissons-hôtes pouvait affecter la dynamique des populations de naïades (Haag et Williams, 2014).

Une fois détachés des branchies de leurs poissons-hôtes, les juvéniles se laisse tomber dans le lit du cours d'eau et s'enfouissent dans les quinze premiers centimètres du substrat. Elles nécessitent alors un substrat meuble. Lors des prospections, la granulométrie a été relevée. Le substrat semblant être le plus favorable à la présence de la Mulette épaisse est de type sablo-graveleux avec quelques blocs rocheux. Cette donnée est confirmée par Zettler et Jueg (1997) qui affirment qu'*Unio crassus* nécessite un substrat sableux-graveleux ou sableux stable tandis qu'elle est absente des substrats limoneux-sableux. La majorité des stations d'*Unio crassus* proposent un substrat additionnel : le pool détritique. A l'image des autres Unionidae, la mulette épaisse peut potentiellement se nourrir de seston provenant des pools détritiques. Cependant, d'après une corrélation entre la concentration en phytoplancton et la croissance des coquilles, sa nourriture principale semblerait être le phytoplancton (Mutvei et Westermark, 2001). Les individus de Mulette épaisse ont été observés à une profondeur moyenne de 149 mm en période d'étiage, avec une maximale à 410 mm. D'après plusieurs auteurs, la profondeur où se trouvent les individus est très variable mais reste relativement faible. Selon Engel et Watchler (1989), elle est de 300 à 800 mm, de 200 à 400 mm selon Vincentini (2005) et de 200 à 700 mm selon Bjork (1962).

Des macrophytes ont été relevés sur les stations à *Unio crassus* : *Elodea sp.*, *Potamogeton coloratus*, *Nupha sp.* Ces espèces peuvent avoir un rôle dans l'augmentation de l'hétérogénéité et une stabilisation accrue des sédiments (Madsen *et al.*, 2001).

Les mesures physico-chimiques de l'eau (T° , O_2 , Conductivité, pH) ont montré des valeurs constantes autant sur les tronçons présentant des individus vivants de Mulette espèce que ceux qui en sont affranchis, néanmoins cette espèce peut vivre dans des eaux légèrement acides à alcalines (Bjork, 1962 ; Hochwald, 2001). Par ailleurs, d'après Hochwald (2001), l'espérance de vie dépend de la température moyenne de l'eau, celle-ci joue également sur la croissance de la coquille. La rivière de la Vaige a une température moyenne de l'eau de $17^{\circ}C$ en période d'étiage, valeur comprise dans l'intervalle de température nécessaire au développement d'*Unio crassus* (entre 9.8 et $24.0^{\circ}C$ en Turquie) cité par Serpil *et al.* (2018).

Enfin, l'ensemble des stations où sont présents des individus de Mulette épaisse ont une ripisylve arborescente discontinue ou continue ce qui amène une quantité importante d'ombre sur le lit du cours d'eau. En effet, localement, les berges boisées occupent un rôle essentiel dans la biocénose des cours d'eau : augmentation de l'ombre et diminution des écarts de températures saisonniers et journaliers, limitation de la prolifération algale, couvert aux insectes servants de nourriture à certains poissons-hôtes, apport annuel de matière organique qui

sera décomposée par divers organismes et potentiellement filtrée (Wilson *et al.*, 2011). L'accumulation de bois dans la rivière augmente la biodiversité et la quantité de macroinvertébrés et poissons (Bis *et al.*, 2001). Un effet sur le peuplement de naïades a même été constaté entre des rivières bordées de boisement et d'autres exemptes de ripisylve, au point de considéré que la suppression des ripisylves est une cause majeure de menace sur les naïades (Gittings *et al.*, 1998 ; Poole et Dowing, 2004). Plus largement, par l'interception des précipitations et en modifiant la part d'eau qui s'infiltré et la part qui ruisselle à la surface du sol, les zones boisées influencent les processus hydrologiques. Il résulte ainsi des surfaces boisées une atténuation des pics de crues et donc des forces de cisaillement sur les mulettes.

La commande de ce projet est de connaître l'emplacement des stations d'*Unio crassus*, l'état des populations et l'habitat nécessaire à l'espèce sur la rivière de la Vaige.

Les prospections de bivalves sont très chronophages. Elles demandent des eaux translucides, une luminosité importante et une hauteur d'eau moindre, ce qui restreint considérablement le nombre de jours de prospections possibles.

Les résultats obtenus confirment la présence d'*Unio crassus* sur la rivière, 8 stations sont concernées situées entre le rithron et le potamon. Ce sont 50 individus de 6 à 20 ans qui ont été observés. Les deux autres espèces, *Unio mancus* et *Anodonta sp*, sont largement majoritaires avec respectivement 213 et 67 individus vivants. L'étude de l'habitat d'*Unio crassus* montre qu'il lui faut un substrat sablo-graveleux avec quelques blocs et des pools détritiques, une hauteur d'eau moyenne de 149 mm et enfin une ripisylve arborescente abondante. Les pêches électriques réalisées afin de caractériser le peuplement ichthyologique indiquent la présence des poissons-hôtes de la Mulette épaisse mais en moindre densité. Cette très faible densité (moins d'un individu au m²) restreint les chances de succès reproducteur d'*Unio crassus*.

Par ailleurs, les actions menées par le SBEMS s'inscrivent pleinement dans la conservation de la Mulette épaisse. Par l'aménagement d'ouvrages et la restauration morphologique des cours d'eau, le syndicat permet de rétablir ou préserver les habitats indispensables aux poissons-hôtes ainsi que leur libre circulation. Ces travaux permettent également un décolmatage du lit de la rivière, notamment des radiers et plats courants où se localisent préférentiellement les individus d'*Unio crassus* sur la rivière de la Vaige.

Malgré le travail fourni, il reste 7 tronçons de rivière à prospector à la recherche d'individus vivants d'*Unio crassus*. Néanmoins, tout les transects prioritaires (à proximité directe de barrages, seuils encore en fonction et en aval de ceux-ci) ont été prospectés. En plus d'être une atteinte physique au cours d'eau, les barrages et les seuils compartimentent les rivières et provoquent des ruptures de corridor écologique de façon permanente. Du fait des difficultés de franchissement des poissons-hôtes, il existe une discontinuité biologique pour les populations d'*Unio crassus* (Lafaille et Brosse, 2011). L'étape suivante, pour savoir s'il y a recrutement de juvéniles, sera de réaliser des excavations de sédiments sur les stations où il y a des adultes. Cette dernière étape visera à affirmer ou infirmer la viabilité des populations de Mulette épaisses sur la rivière de la Vaige.

Le fait que la Mulette épaisse du bassin versant de la Loire soit une sous-espèce endémique (isolat génétique) : *Unio crassus courtillieri* (Prié et Puillandre, 2014) souligne la nécessité et l'importance d'une prise en compte dans les politiques de protection et dans les mesures de conservation.

Les changements climatiques se profilant à l'horizon 2050 sont inquiétant dans la mesure où le niveau d'eau dans les rivières baisse drastiquement en période d'étiage jusqu'à engendrer des cours discontinus comme cette année sur la Vaige. Cette carence en eau additionnée au prélèvement peut réellement mettre en danger les êtres vivants benthiques tels que les peuplements de naïades, sur l'ensemble des cours d'eau métropolitains. C'est pourquoi, il faudra porter une attention particulière au peuplement présent sur la rivière de la Vaige, au fil des années, ainsi que continuer à œuvrer pour des actions de restauration des cours d'eau, en effaçant les ouvrages transversaux, en restaurant les lits mineurs ou encore en préservant une ripisylve discontinue abondante. De plus, il sera nécessaire de mettre l'accent sur la préservation et la restauration des fonctionnalités des zones humides puisqu'elles jouent un rôle épurateur (micro et macro polluants), de soutien d'étiage et de rétention des eaux en période de crues. En addition, adapter l'agriculture à son territoire (cultures moins gourmandes en eau, agriculture raisonnée, troupeaux de moindre effectifs, ...) et la gestion quantitative de l'eau notamment par le respect du débit réservé au niveau des plans d'eau, seront sûrement quelques-unes des clés de réussite de la conservation de débits d'étiage vivables pour les espèces benthiques.

A-B

BAUER G., 1994, The adaptative value of offspring size among freshwater mussels (Bivalvia: Unionoidea). Journal of Animal Ecology.

BEAUME N., PASCO P.Y., RIBEIRO M., DURY P., ROSTAGNAT L. & BEAUFILS B., 2016, Conserver la moule perlière d'eau douce dans nos rivières. Recueil d'expérience du programme LIFE+ Nature « Conservation de la moule perlière d'eau douce du Massif armoricain » 2010-2016. Bretagne Vivante / CPIE des Collines / FFPPMA 29 / SIAES / PNRNM. Brest. 72 p.

BEGGEL S., GEIST J., 2014, Acute effects of salinity exposure on glochidia viability and host infection of the freshwater mussel *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758)

BICHAIN J.-M., 2017, Les macro-bivalves (Anodontes, Corbicules, Moules et Mulettes) du Haut- et du Bas-Rhin. Malacofaune d'Alsace (cahier technique - volume 3) : 46 pp. Document numérique.

BICHAIN J.-M. & WAGNER A., 2010, Un nouvel espoir pour *Unio crassus* Philipsson, 1788 (Mollusca, Bivalvia, Unionidae) en Alsace. MalaCo, 6 : 264.

BIOTOPE, 2009, Étude préalable à la mise en place de plans de conservation des mollusques de la Directive Habitats et protégées au titre de l'arrêté du 23 avril 2007 en Picardie.

BIOTOPE, 2013, Élaboration d'un plan de gestion pour la Mulette épaisse dans le cadre du LIFE+ « Continuité écologique » LIFE10NAT/FR/A92 – Action A3-2012-1-1 Parc naturel régional du Morvan.

C-D

ĆMIEL AM, ZAJAC K, LIPINSKA AM, ZAJAC T., 2018, Glochidial infestation of fish by the endangered thickshelled river mussel *Unio crassus*. Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst ;28:535–544. <https://doi.org/10.1002/aqc.2883>

DIRECTIVE 92/43/CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages

DOUDA K., HORKÝ P., BÍLÝ M., 2012, Host limitation of the thick-shelled river mussel: identifying the threats to declining affiliate species. Animal Conservation. DOI: 10.1111/j.1469-1795.2012.00546.x

DOUDA K., 2015, Host-dependent vitality of juvenile freshwater mussels: Implications for breeding programs and host evaluation

DOWNING W. L., DOWNING J. A., 1993, Molluscan shell growth and loss. Nature 362: 506. <http://dx.doi.org/10.1038/362506a0>

E-F

ENGEL H., WÄCHTLER K., 1989, Some peculiarities in developmental biology of two forms of the freshwater bivalve *Unio crassus* in northern Germany. Archiv fur Hydrobiologie.

European Environment Agency, 2018, European waters — Assessment of status and pressures 2018

FOUILLE S., Etude d'impact de la qualité intra-sédimentaire en vue de la protection des naiades sur les rivières de la Cure et du Cousin, Master 2 Ecologie-Environnement Spécialité : Gestion des Habitats et des Bassins Versants, Université de Rennes 1

H-K

HAAG WR. and RYPEL AL., 2010, Growth and longevity in freshwater mussels: evolutionary and conservation implications, *Biol. Rev.* 86: 225–247. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00146.x>

HESNARD O., 2014, Inventaire et cartographie des Mulettes sur le territoire du PNR Normandie-Maine, Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE) des Collines normandes

HOCHWALD S., 2001, Plasticity of life history traits in *Unio crassus*. In "Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida", BAUER G. and WÄCHTLER K.

HUS M., ŚMIALEK M., ZAJAC K., ZAJAC T., 2006, Occurrence of *Unio Crassus* (Bivalvia, Unionidae) Depending on Water Chemistry in the Foreland of the Polish Carpathians, *Polish Journal of Environmental Studies*

KARAS F., 2009, Gastéropodes aquatiques et bivalves, Invertébrés continentaux des Pays de la Loire – Gretia

KRYGER J., RIISGÅRD U., 1988, Filtration rate capacities in 6 species of European freshwater bivalves. *Oecologia*.

L

LAMAND F., BEISEL J.-N., 2014, Comparison of visual observation and excavation to quantify density of the endangered bivalve *Unio crassus* in rivers of north-eastern France, *EDP Sciences*, DOI: 10.1051/kmae/2014009

LAMAND F., BEISEL J.-N., 2014, Proposal for a simple hydromorphological habitat survey method for freshwater bivalve (Unionidae) inventories, *Aquatic Ecology*, DOI: 10.1007/s10452-014-9479-y

LAMAND F., PRIE V., 2017, Détermination des mollusques bivalves de France, Naiades et petits bivalves d'eau douce, Agence Française pour la biodiversité

LEWIN I., 2014, Mollusc communities of lowland rivers end oxbow lakes in agricultural areas with anthropogically elevated nutrient concentration, *Folia Malacologia*, <http://dx.doi.org/10.12657/folmal.022.012>

LUNDBERG S. & ÖSTERLING M. (eds), 2016, Return of the Thick-shelled River Mussel – Restoring floodplains, habitats and connectivity by using mussels and brains. Layman's report, UC4LIFE, Skåne County Administrative Board.

M-N

MALAVOI J.-R., BRAVARD J.-P., 2010, « Eléments d'hydromorphologie fluviale », Onema

MARMONIER P., DELETTRE Y., LEFEBVRE S., GUYON J. et BOULTON A.-J., 2004. «A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation in the beds of river.» *Archive für hydrobiologie*.

MOUTHON J., FRANZONI A., 2014, Etat des populations d'*Unio crassus* (Bivalvia: Unionidae) en Franche-Comté (France), *Folia Conchyliologica*

MOUTHON J., 1982, LES MOLLUSQUES DULCICOLES - Données biologiques et écologiques, Clés de détermination des principaux genres de Bivalves et de Gastéropodes de France, <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1982001>

MUTVEI H., et WESTERMARK T., 2001, How environmental information can be obtain from naiad shells. Ecological Studies

NEVES R. J., MOYER S. N., 1988, Evaluation of techniques for age determination of freshwater mussels (Unionidae). Amer. Malac. Bull. 6: 179–188.

O-P

Office pour les Insectes et leur Environnement de Franche-Comté (OPIE F-C), 2010, Recherche ciblée de deux espèces de Nâïades patrimoniales en Franche-Comté : la Moule perlière d'eau douce (*Margaritifera margaritifera*) et la Mulette épaisse (*Unio crassus*) (Mollusca Bivalvia). Tome I : Rapport de restitution des investigations.

ÖSTERLING M., ZULSDORFF V. & SCHNEIDER L-D., 2014, Technical report : Host fish species of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* in seven Swedish river systems

POOLER P.S. and SMITH D.R., 2005, Optimal sampling design for estimating spatial distribution and abundance of a freshwater mussel population. J. North Am. Benthol. Soc., 24, 525–537.

PUISSAUVE R., BARTHELEMY G. & LAMAND F., 2015, Fiches d'information sur les espèces aquatiques protégées : Mulette épaisse, *Unio crassus* (Philipsson, 1788). Service du patrimoine naturel du MNHN & Onema.

Q-S

SAGE Environnement, 2013, Evaluation de la présence / absence de mollusques aquatiques protégés ciblés sur la Grande mulette et la Mulette épaisse dans le cadre du projet d'aménagement d'une aire d'écrêtement de crues de la Serre

SCHNEIDER L-D., 2014, Ecology of the threatened thick-shelled river mussel *Unio crassus* (Philipsson 1788) with focus on mussel-host interactions

SCHNEIDER L-D., 2017, Conservation ecology of the thick-shelled river mussel *Unio crassus* - The importance of parasite-host interactions, doctoral thesis, Karlstad University Studies.

SCHNEIDER L-D., NILSSON P-A, ÖSTERLING E-M, 2017, Evaluating temperature- and host-dependent reproduction in the parasitic freshwater mussel *Unio crassus*, Hydrobiologia

SCHNEIDER L-D., NILSSON P-A, HOJESJO J., ÖSTERLING E-M, 2018, Effects of mussel and host fish density on reproduction potential of a threatened unionoid mussel: prioritization of conservation locations in management trade-offs

SERDAR S., BULUT H., EDEN M., ÖZDEMİR Y., 2018, Determining Bioecological and Biometric Properties of Freshwater Mussels (*Unio crassus* Philipsson, 1788)

SOUCHON Y., MALAVOI J.R., 2012, Démantèlement des seuils en rivière Aperçu international des bénéfices physiques et écologiques potentiels, Rapport de synthèse, IRSTEA et ONEMA

STAERCK J-F et ROTH-BOUCARD A, 2017, Analyse de l'impact résiduel sur la Mulette épaisse *Unio crassus* et son habitat, Du projet de restauration de l'Andlau à Hindisheim et à Limersheim

« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

STOECKL K., TAEUBERT J.-E. and GEIST J., 2014, Fish species composition and host fish density in streams of the thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) - implications for conservation

T

TAEUBERT J.-E., GUM B., GEIST J., 2012a, Host-specificity of the endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*, Philipsson 1788) and implications for conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. DOI: 10.1002/aqc.1245

TAEUBERT J.-E., MARTINEZ A. M. P., GUM B., GEIST J., 2012b., The relationship between endangered thick-shelled river mussel (*Unio crassus*) and its host fishes. *Biological Conservation*. DOI: doi:10.1016/j.biocon.2012.06.005

THOMAS A., Clés d'identification des naïades du bassin de la Loire

TIMM, H. & MUTVEI, H., 1993, Shell growth of the freshwater unionid *Unio crassus* from Estonia rivers. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences Biology* 42, 55-67

U-V

VINCENTINI H., 2005, Unusual spurting behaviour of the freshwater mussel *Unio crassus*. *Journal of Mollusca Studies*. DOI : 10.1093/mollus/eyi045

VRIGNAUD S., 2004, Clef de détermination des Naïades d'Auvergne, Bulletin n°4 de liaison de l'atlas des Mollusques de l'Allier

VRIGNAUD S., 2016, Les espèces face à l'instabilité des hydrosystèmes fluviaux : le cas de la mulette épaisse *Unio crassus* Philipsson, 1788 (Mollusca: Bivalvia: Unionida).

VRIGNAUD S., Rôle de l'incision dans la régression de la Mulette épaisse *Unio crassus* en Auvergne (Bassin versant de l'Allier)

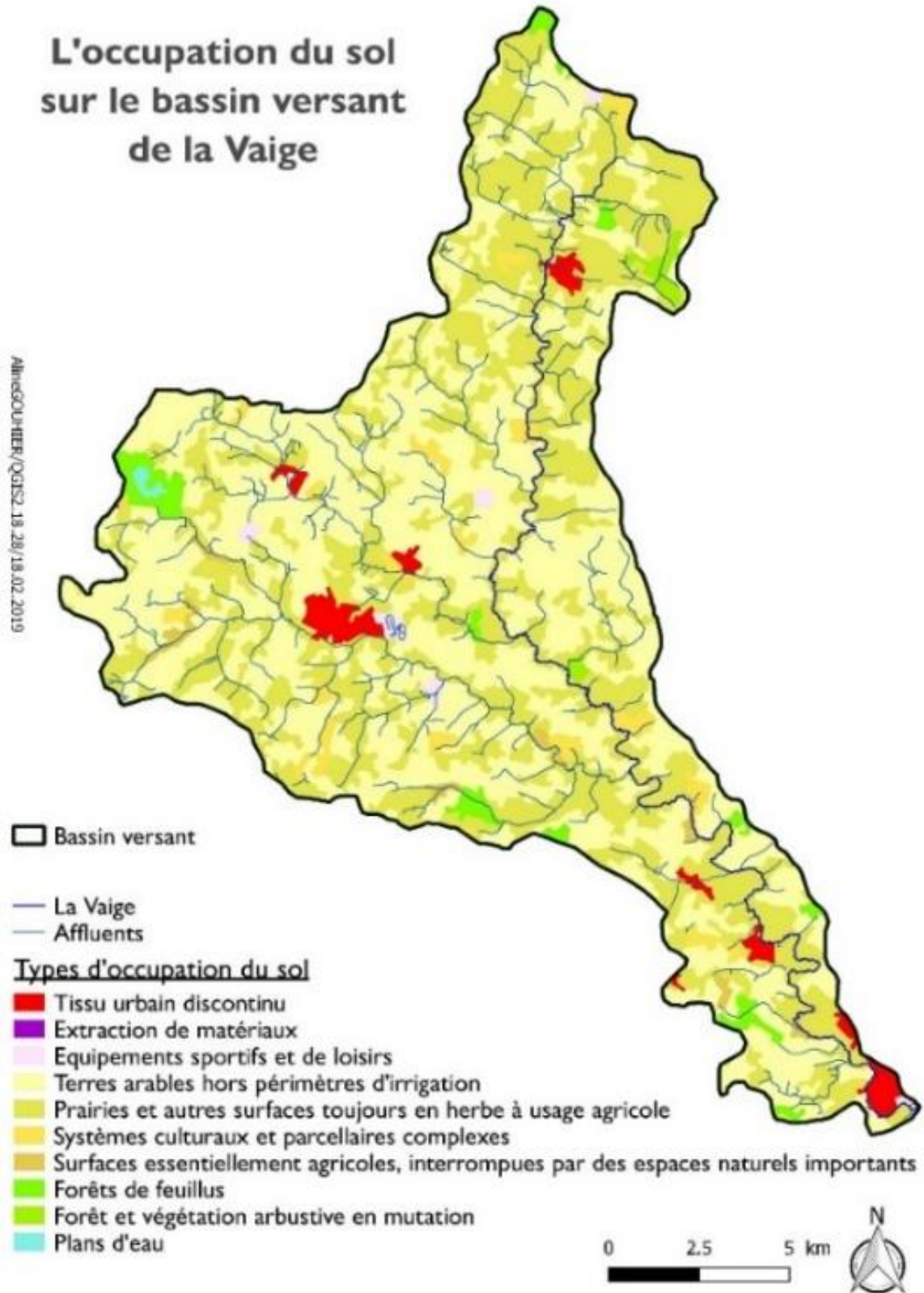
W-Z

ZAJAC, K., ZAJAC, T., ADAMSKI, P., BIELANSKI, W., CMIEL, A. & LIPINSKA A., 2013, How to establish a new population of *Unio crassus*? A case study in the Biala river, *Açoreana* supplement 8, 212-213

ZETTLER M. L., JUEG U., 2001, Die Bachmuschel (*Unio crassus*) in Meklenburg Vorpommern in Naturschutzarbeit. Mecklenburg-Vorpommern

ZETTLER M. L., JUEG U., 2007, The situation of the freshwater mussel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north east Germany and its monitoring in terms of the E.C. Habitats Directive. *Mollusca*

Annexe n° 1 : Cartographie de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Vaige



« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

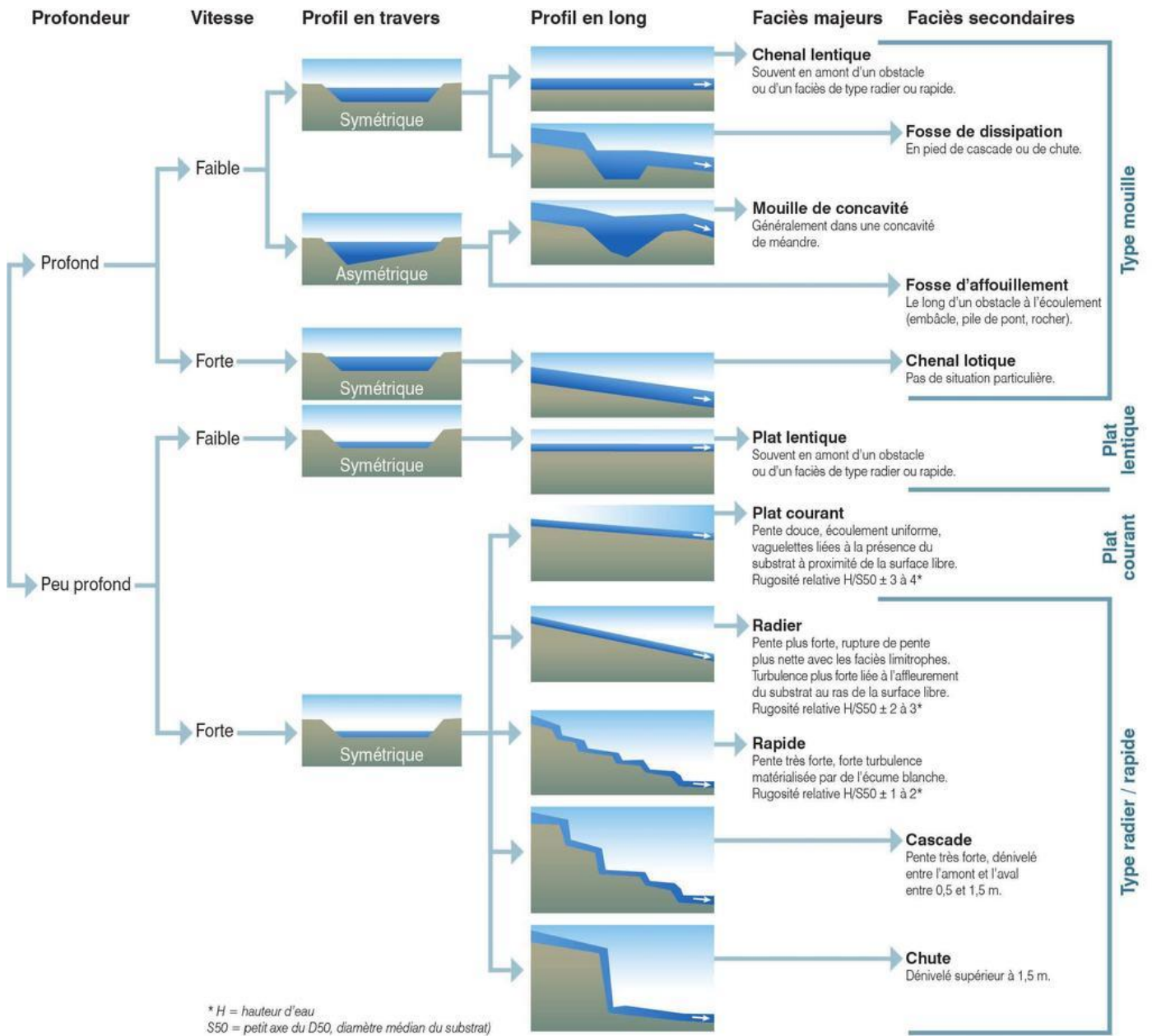
Classification juridique des cours d'eau								
Première Catégorie					Deuxième Catégorie			
Zonation piscicole de Huet								
Zone Salmonicole					Zone Cyprinicole			
Zone à truite			Zone à ombre		Zone à Barbeau		Zone à Brème	
Biotypologie de Vernaux								
B 0 - B 1 Sources	B 2 Ruisscaux	B 3 Ruisscaux Montagnard	B 4 Petites Rivières froides	B 5 Rivières De pré- montagne	B 6 Rivières fraiches	B 7 Cours d'eau de plaine aux eaux plus fraiches	B 8 Grands Cours d'eau De plaine	B 9 Bras mort Grand cours d'eau lents et chauds
Zonation de Illies et Botosaneanu								
Crénon		Rithron				Potamon		

		Première Catégorie							Deuxième Catégorie									
		Zone Salmonicole							Zone Cyprinicole									
		Zone à truite				Zone à ombre			Zone à barbeau				Zone à brème					
Ombre de fontaine	<i>Salvelinus fontinalis</i>	x	X	X	X	X												
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	x	X	X	X	X	X	x										
Truite Fario	<i>Salmo trutta fario</i>	x	X	X	X	X	X	X	x									
Truite ARC	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	x	X	X	X	X	X	X	X	x								
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	x	X	X	X	X	X	X	x									
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>			x	X	X	X	X	X	x								
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>				X	X	X	X	X	x								
Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i>			x	X	X	X	X	X	X	X	X	x					
Chevaine	<i>Leuciscus cephalus</i>				X	X	X	X	X	X	X	X	x					
Barbeau méridional	<i>Barbus meridionalis</i>				x	X	X	X	X	X								
Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>					x	x	X	X	X	X	X	x					
Goujon	<i>Gobio gobio</i>				x	X	X	X	X	X	X	X	x					
Epinoche	<i>Gasterosteus aculeatus</i>				x	X	X	X	X	X	X	X	X	x				
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>							x	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>								x	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>										x	X	X	X	X	X	X	X
Carassin	<i>Carassius carassius</i>												x	X	X	X	X	X
Tanche	<i>Tinca tinca</i>												x	X	X	X	X	X
Brème	<i>Abramis brama</i>												x	X	X	X	X	X
Brochet	<i>Esox lucius</i>							x	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>							x	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>										X	X	X	X	X	X	X	
Silure	<i>Silurus glanis</i>												x	X	X	X	X	X
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>				x	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

A.B.D.F [loi 1901]

Sources ::Biologie des poissons d'eau douce européens (2e éd.) Par Jacques Bruslé, Jean-Pierre Quignard

Annexe n°3 : Types de faciès

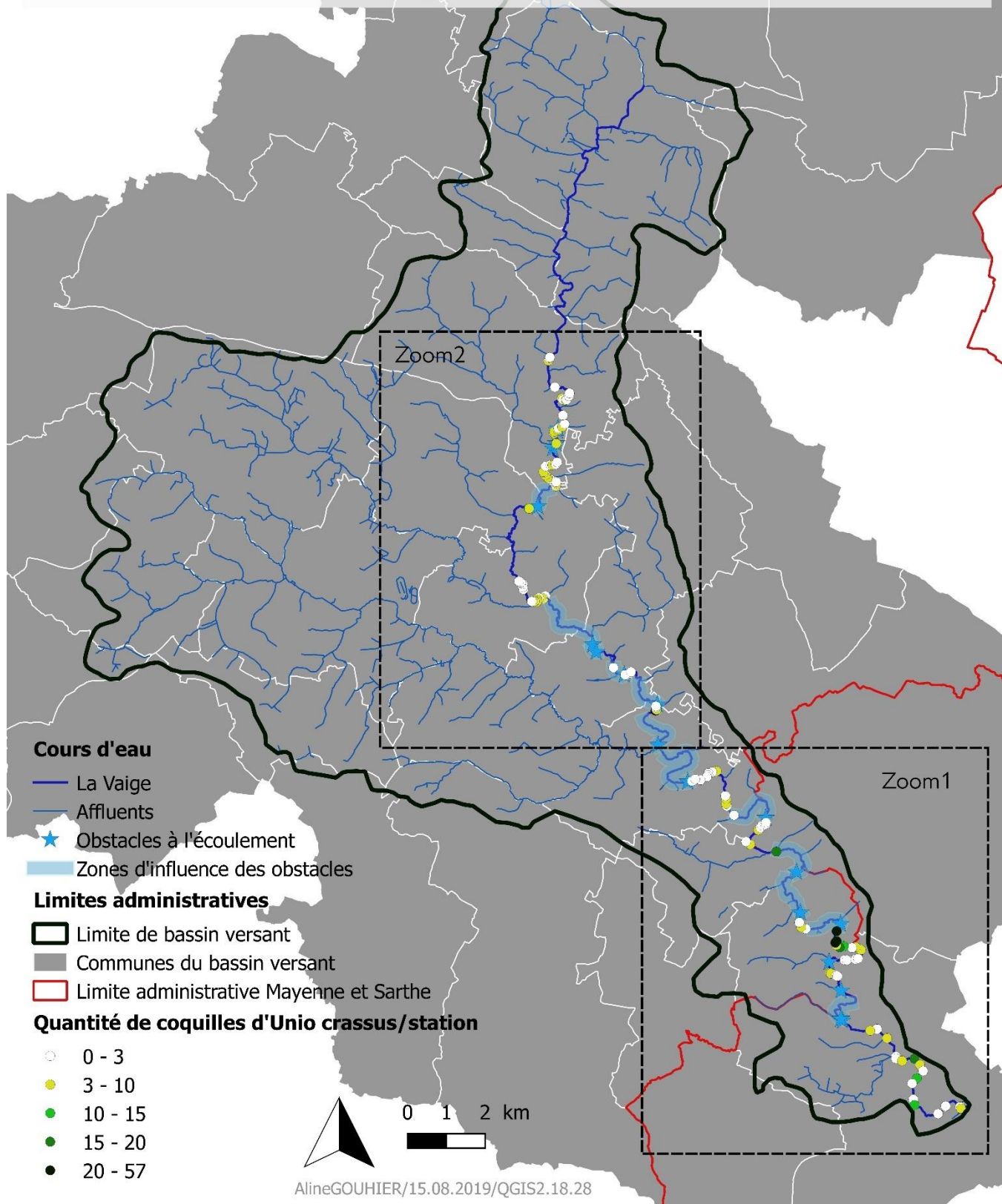


« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

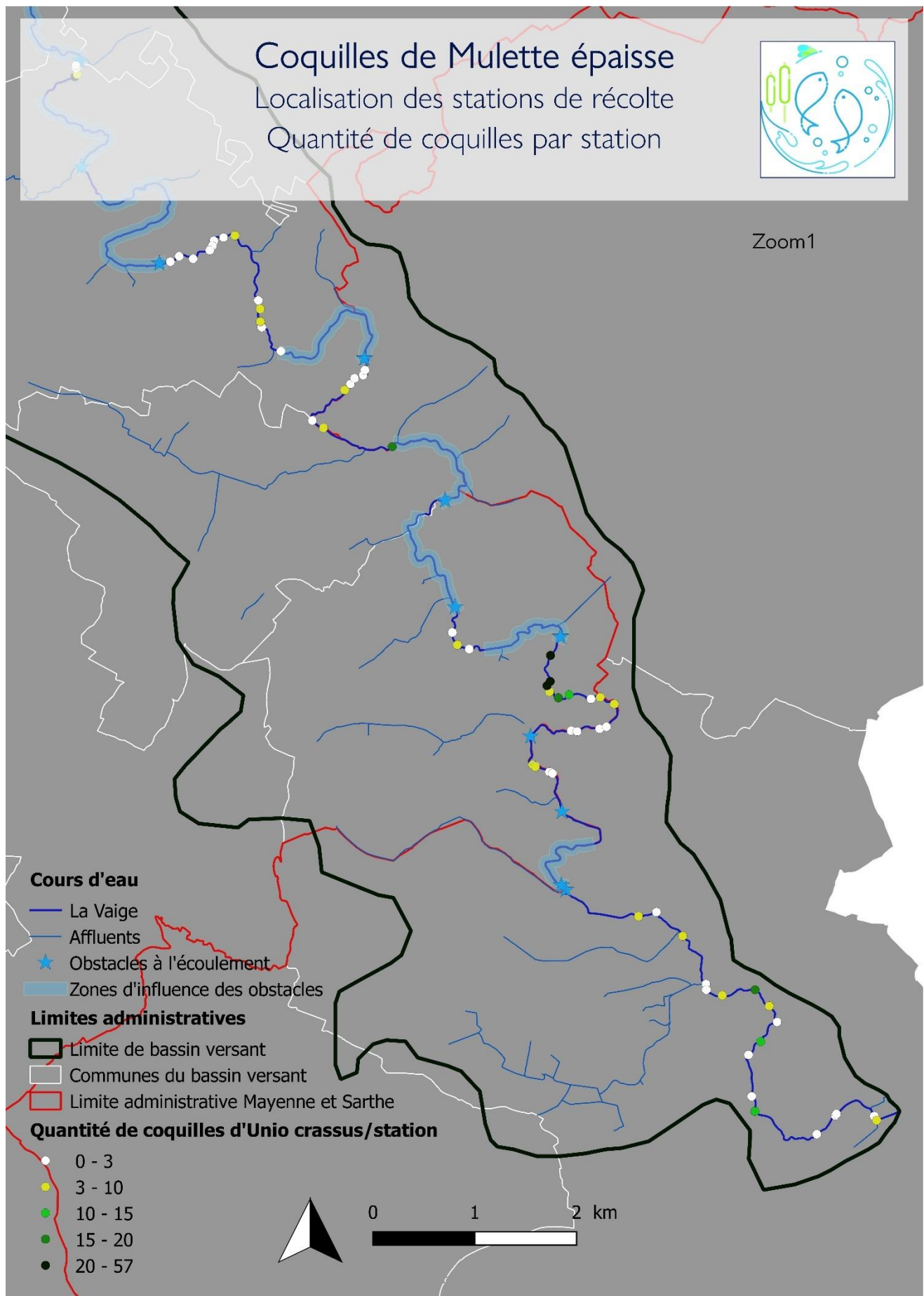
Coquilles de Mulette épaisse

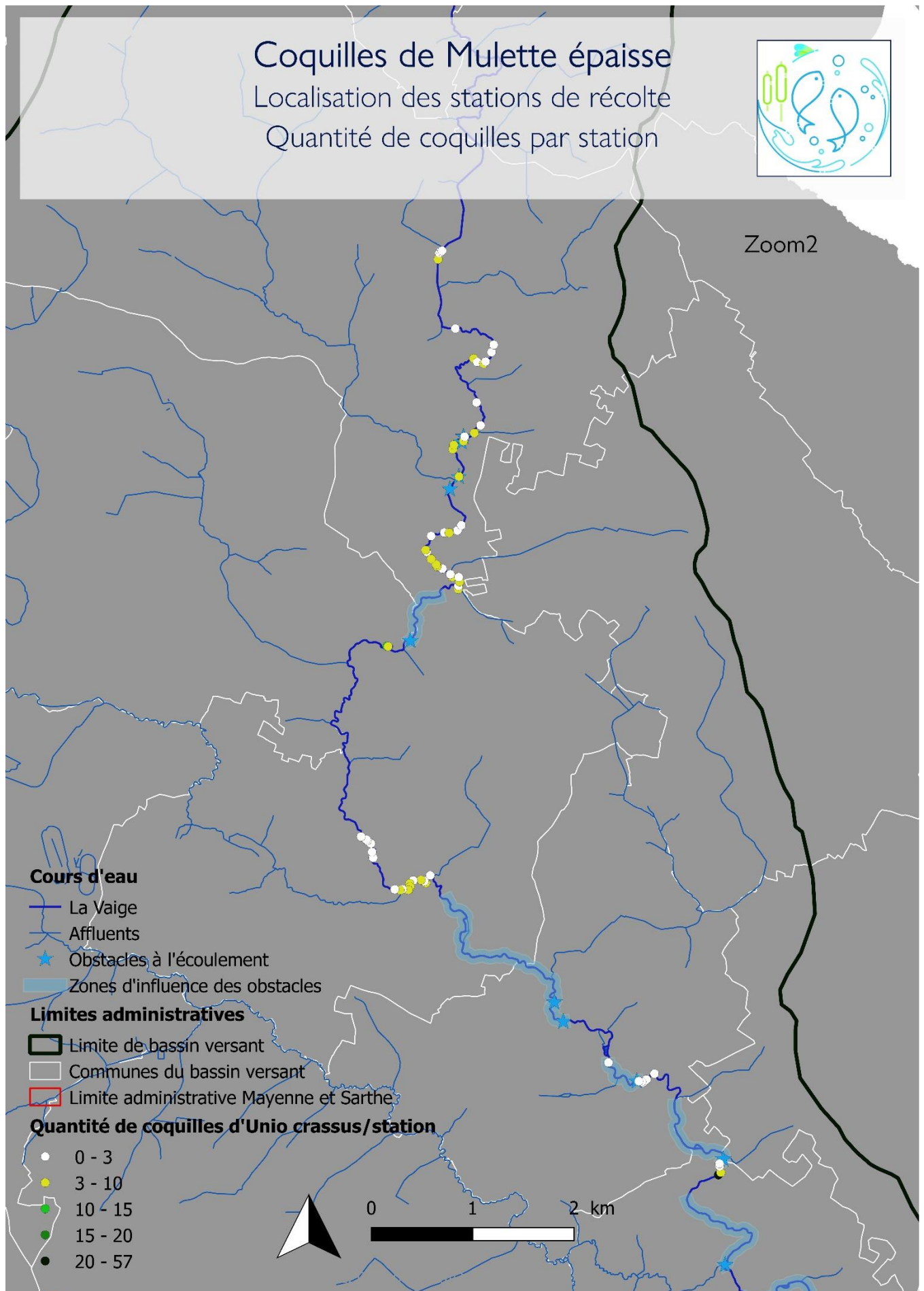
Localisation des stations de récolte

Quantité de coquilles par station



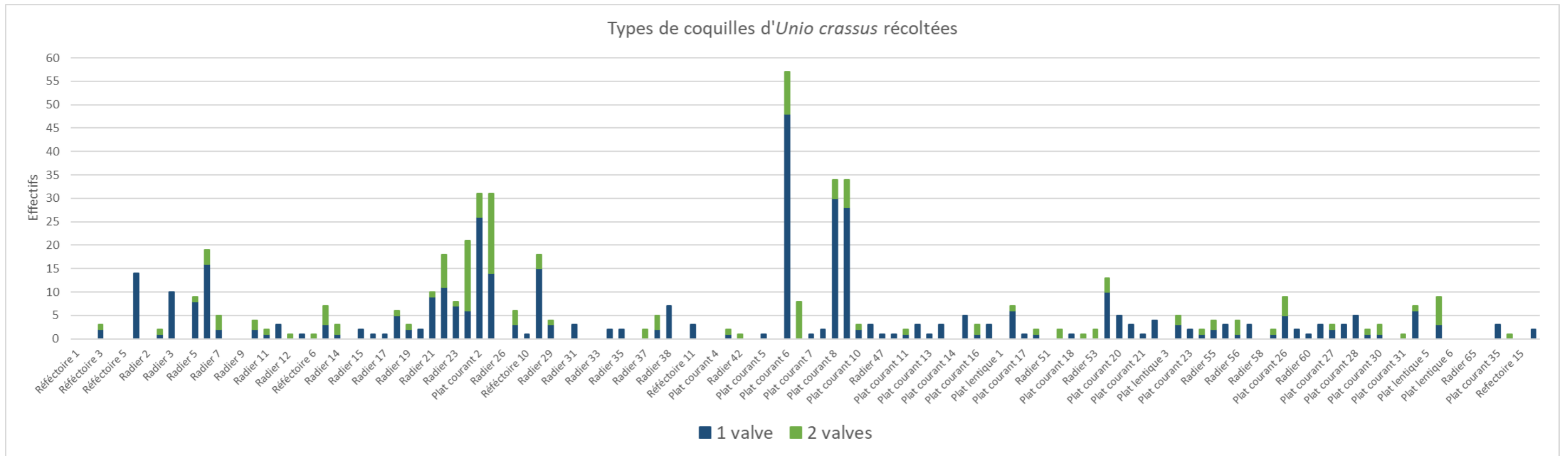
« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »



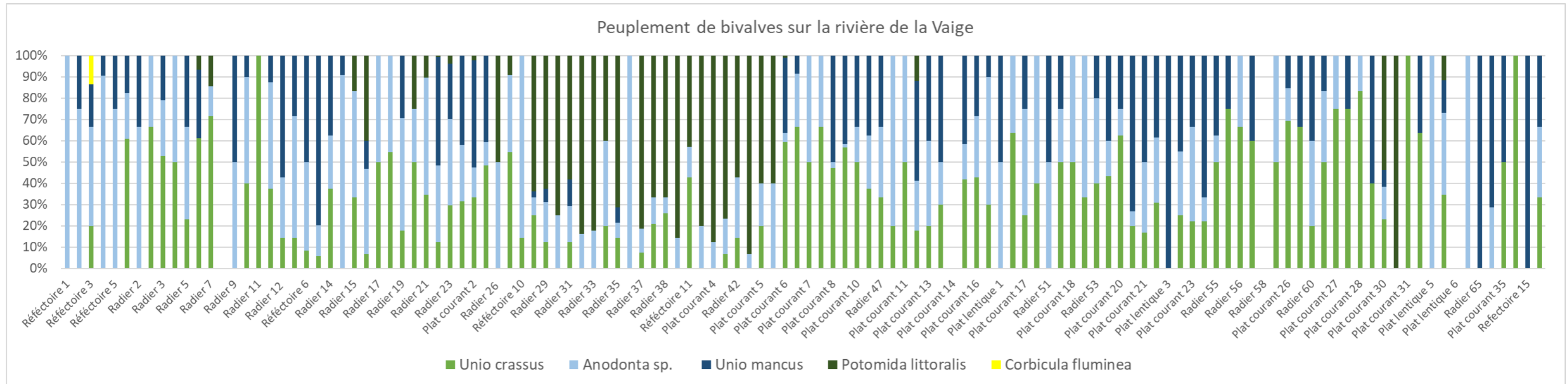


« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse
Unio crassus (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

Annexe n° 7 : Diagramme des types de coquilles d'*Unio crassus* récoltées



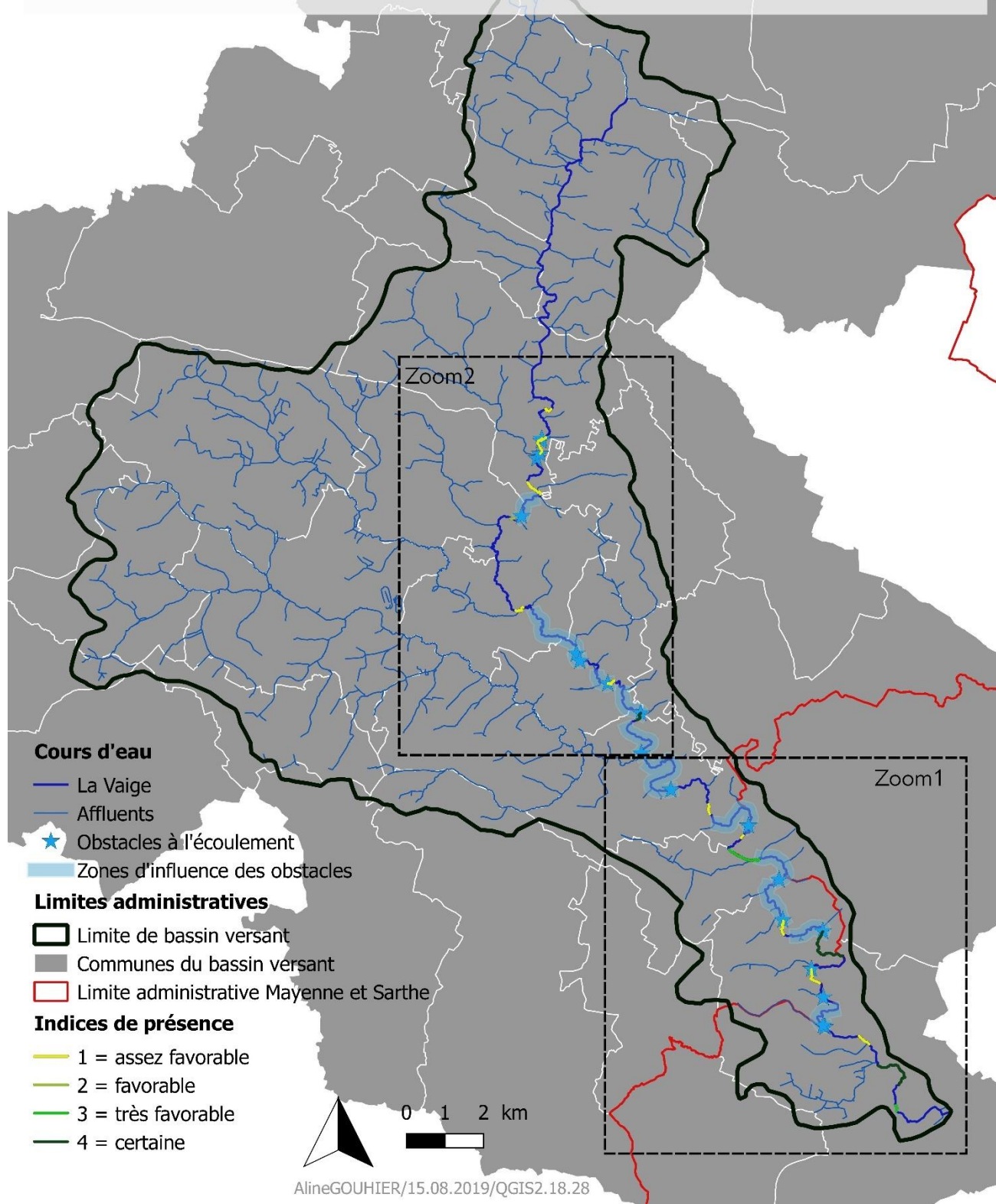
Annexe n°8 : Diagramme des peuplements de bivalves au vu des coquilles récoltées

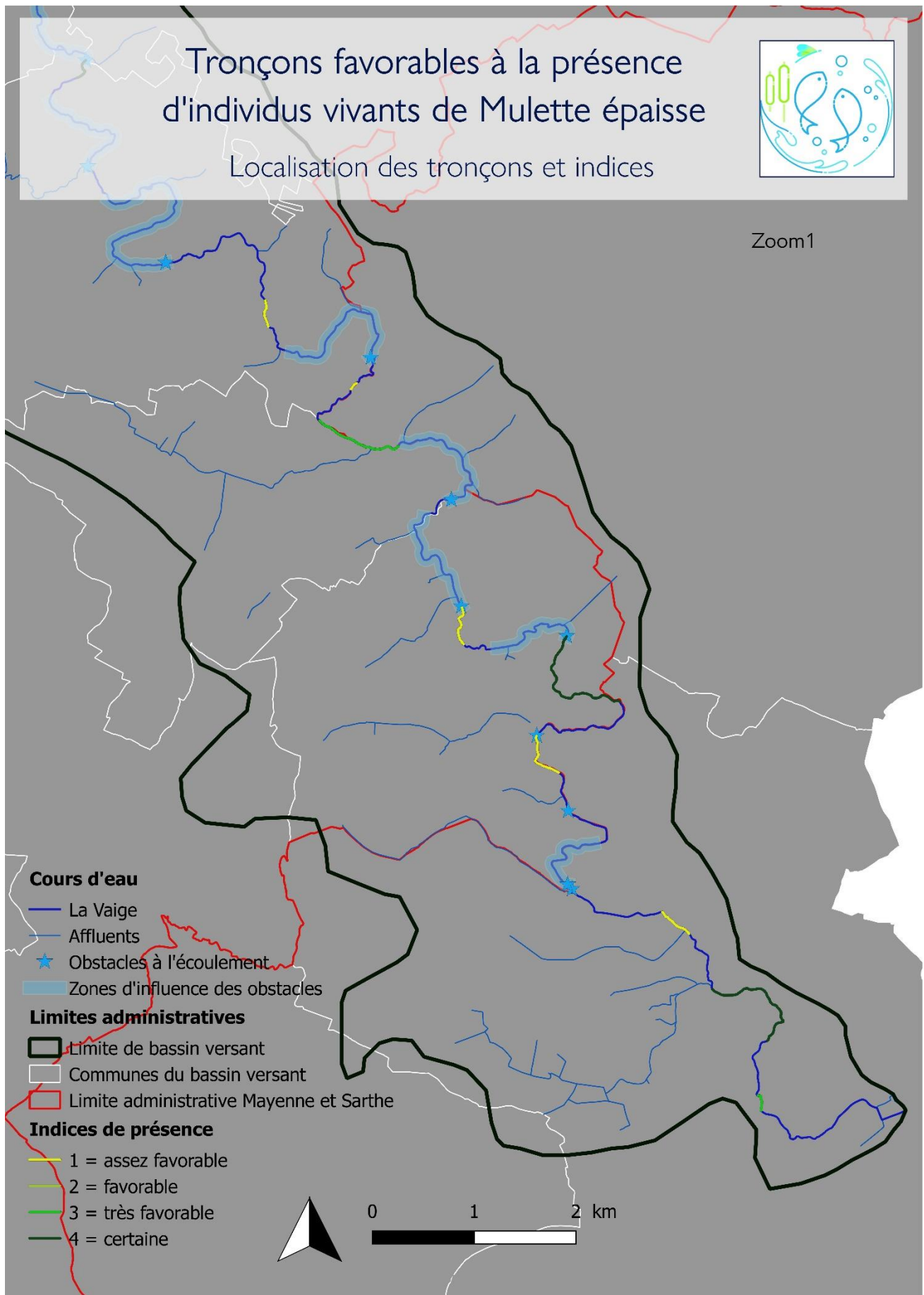


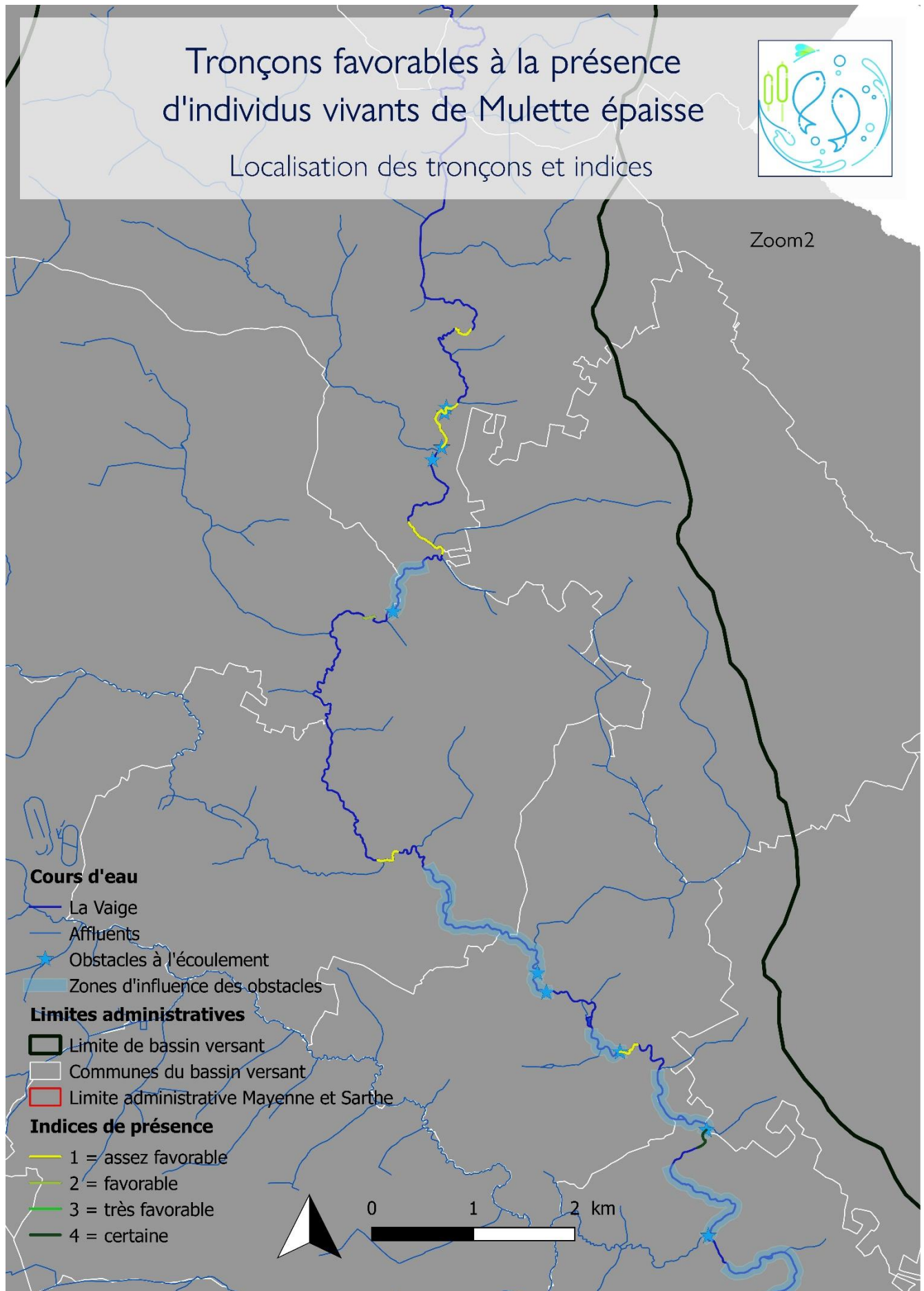
« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

Tronçons favorables à la présence d'individus vivants de Mulette épaisse

Localisation des tronçons et indices





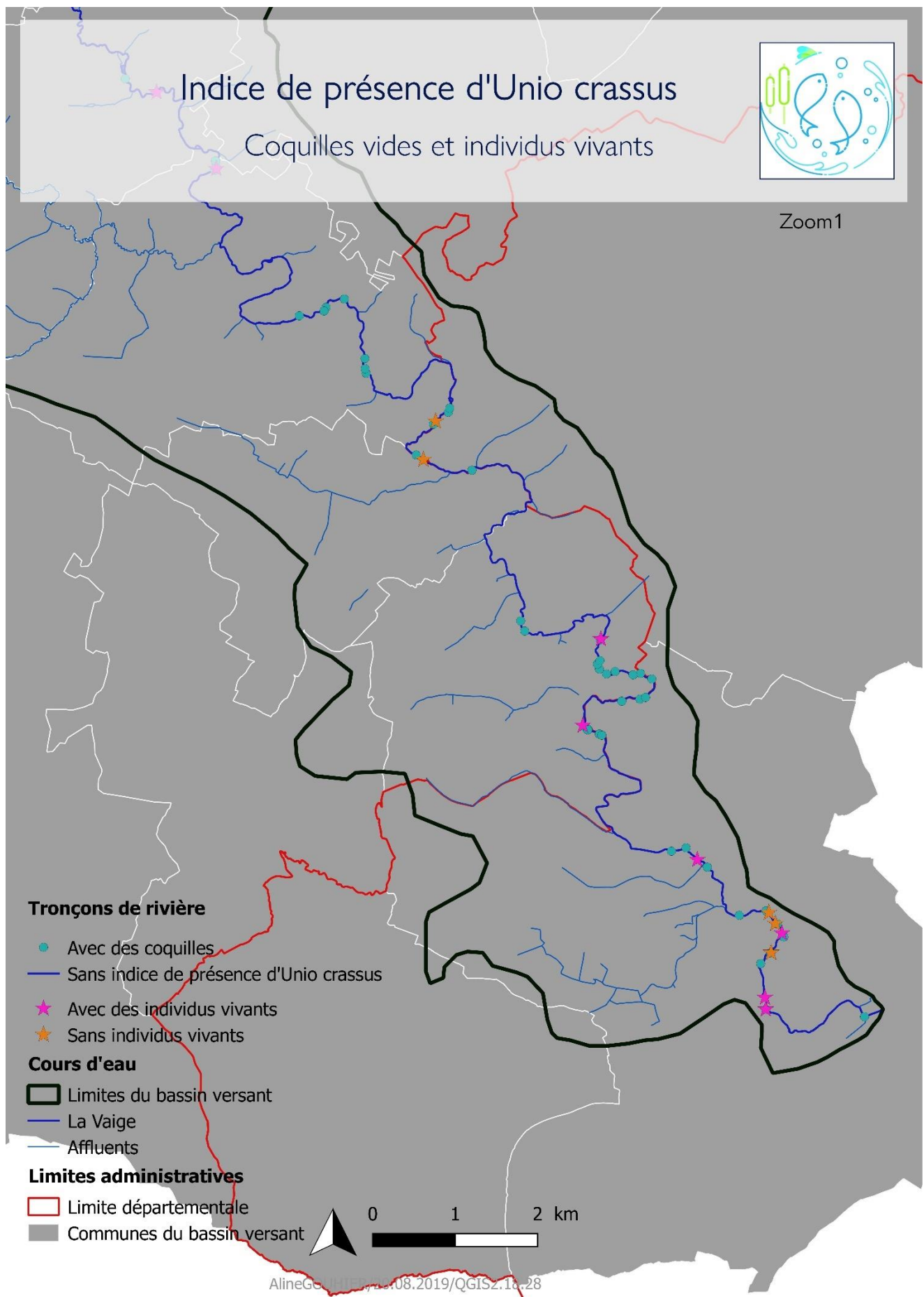


« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

Annexe n°12 : Tableau des résultats d'observation des individus de naïades vivants

Numéro de station	<i>Unio crassus</i>	<i>Unio mancus</i>	<i>Potomida littoralis</i>	<i>Anodonta</i> sp.	Total général
1	1	0	0	0	1
2	5	0	0	0	5
3	0	3	0	0	3
4	1	8	0	0	9
5	0	12	0	0	12
6	0	41	0	23	64
7	2	0	0	0	2
8	3	2	0	2	7
9	1	2	0	0	3
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	24	32	0	14	70
13	13	113	0	26	152
14	0	0	0	2	2
Total général	50	213	0	67	330

Remarque : la station 1 correspond à la station la plus en aval sur la rivière et la 14 celle qui est la plus en amont.



« GOUHIER A. ; Etat écologique de la Vaige, caractérisation du peuplement de Mulette épaisse *Unio crassus* (Philipsson, 1788) / Mémoire Lp ATIB ; 2019 »

