



HAL
open science

Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (agnathes amphihalins): rapport final - Troisième tranche fonctionnelle -

Catherine Taverny, Maria Urdaci, A.M. Elie, Laurent Beaulaton, I. Ortusi,
Françoise Daverat, Pierre Elie

► To cite this version:

Catherine Taverny, Maria Urdaci, A.M. Elie, Laurent Beaulaton, I. Ortusi, et al.. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (agnathes amphihalins): rapport final - Troisième tranche fonctionnelle -. irstea. 2005, pp.92. hal-02587144

HAL Id: hal-02587144

<https://hal.inrae.fr/hal-02587144>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Biologie, écologie et pêche des Lamproies migratrices (agnathes amphihalins)

Rapport final

- Troisième tranche fonctionnelle -



**DEPARTEMENT DES MILIEUX AQUATIQUES
QUALITE ET REJETS**

Unité de Recherche « Ecosystèmes estuariens
et poissons migrateurs amphihalins »

50 avenue de Verdun 33612 CESTAS Cedex

Tél : 05 57 89 08 00 - Fax : 05 57 89 08 01

Novembre 2005

Etude n° 99

Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (agnathes amphihalins)

Rapport final Troisième tranche fonctionnelle

Catherine Taverny¹, Maria Urdaci², Anne-Marie Elie²,
Laurent Beaulaton³, Isabelle Ortusi³, Françoise Daverat³,
Pierre Elie³

ainsi que

Echantillonnages :

C. Roqueplo, M. Lepage, R. Le Barh³

¹ Société RIVIERE-ENVIRONNEMENT
32, rue du prêche - 33130 Bègles
catherine.taverny@cemagref.fr (05.57.89.09.91)

² ENITA
Laboratoire de biologie moléculaire
1 cours du Général de Gaulle BP 20133175 Gradignan

³ CEMAGREF,
Unité de Recherche « Ecosystèmes estuariens
et poissons migrateurs amphihalins »
50 avenue de Verdun, Gazinet, 33612 Cestas Cedex
(05.57.89.08.00)



Citation en bibliographie :

Catherine Taverny, Maria Urdaci, Anne-Marie Elie, Laurent Beaulaton, Isabelle Ortusi, Françoise Daverat, Pierre Elie. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Troisième tranche fonctionnelle. Rapport final (novembre 2005). Etude Cemagref, Groupement de Bordeaux, n°99 : 71 p.

Crédits photographiques C. Taverny
Sauf photographies des figures

1 : J. Thomas
6 : L. Beaulaton
21 à 37 : A-M Elie

Résumé

Les préférences d'habitats zones de grossissement des larves de lamproies *Petromyzon marinus* et *Lampetra* sp. sont étudiées dans des rivières de 4^{ème} catégorie Livenne, Cère, Dronne et 6^{ème} catégorie Dordogne (modules de 279 à 2,5 m³/s). Des zones de hauts fonds jusqu'à des profonds de 6 mètres, la même technique d'échantillonnage est utilisée en plongée afin de capturer des larves enfouies. Les sections échantillonnées sont choisies en aval d'au moins une zone de frayère. Les larves s'agrègent dans des sites présentant un substrat meuble dans des faciès profonds ou non, de type lent et des zone de contre-courant (zone d'étalement, berge, banc, mouille). La distribution des larves enfouies dépend fortement de la composition granulométrique. Le sédiment préféré est le sable (64%) et la matière organique est toujours présente (0.2 à 18.3% en poids sec). En cumulant les données des 4 rivières, la probabilité de trouver des ammocoetes dans leur habitat optimal est de 45% (2.6 ind/m²) et de 10% dans les habitats sub-optimaux à non optimaux (0.35 à 0.11 ind/m²). Dans des sections de rivière à fond dur, la végétation aquatique peut augmenter notablement le potentiel en habitats pour les jeunes larves, surtout en aval de frayères, grâce à la présence de floculats organiques.

La tentative de détermination des larves des deux espèces paires du genre *Lampetra* sur des bases génétiques est poursuivie. Après les régions Cyt B et D-Loop de l'ADN mitochondrial étudiées au cours des phases précédentes de l'étude, d'autres régions sont analysées. Situées entre les gènes codant pour les ARNs de transfert Thréonine et Glutamine et le cyt B elles ne se sont pas avérées plus discriminantes. Une autre technique, la RAPD, est également menée avec un grand nombre d'amorces différentes et d'individus. Ces différents essais ne permettent pas de différencier *L. fluviatilis* de *L. planeri* d'une manière certaine, ni de définir des profils différents selon l'origine géographique des animaux. Tous les résultats obtenus incitent donc à penser qu'il s'agit de deux morphotypes de la même espèce avec une forme migratrice *fluviatilis* et une forme sédentaire *planeri* non génétiquement distinctes, au moins pour la partie basse du bassin Gironde Garonne Dordogne.

Des échantillonnages sont réalisés parmi les lamproies marines adultes capturées au sein de deux pêcheries en Garonne et en Dordogne. Les paramètres biologiques obtenus au cours des deux saisons 2003 et 2004 sont comparés. Axes confondus, 250 et 331 lamproies marines sont examinées à la fois en terme de sexe, de taille et de poids. Sur l'ensemble de la saison, le sexe-ratio est proche de 1:1. Il est légèrement en faveur des mâles en début de saison. La taille et le poids des lamproies marines qui choisissent de remonter dans la Dordogne sont en moyenne significativement plus importants qu'en Garonne. Au sein des vagues de femelles migrantes, la maturité progresse régulièrement tout au long de la saison de pêche.

Catherine Taverny, Maria Urdaci, Anne-Marie Elie, Laurent Beaulaton, Isabelle Ortusi, Françoise Daverat, Pierre Elie. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Troisième tranche fonctionnelle, Rapport final. Cestas : Cemagref, 2005. Etude n° 99 - 71 p.

Afin de déterminer l'âge individuel des lamproies, les statolithes sont utilisés. Un tiers environ des adultes migrants ont, près de la base de leur statolithe, une marque plus opaque et plus épaisse que les marques saisonnières classiques. L'hypothèse d'une marque en relation avec la phase de la métamorphose est avancée et un début de réponse recherché par une analyse microchimique du statolithe. Un pic du rapport Strontium/Calcium est constaté au niveau de chacune de ces marques atypiques, dans une gamme cependant de valeurs relativement faibles ($4 \cdot 10^{-3}$ à $1 \cdot 10^{-3}$). Sous réserve d'une validation restant à réaliser pour cette marque, les estimations d'âge total tentées pour *L. fluviatilis* et *P. marinus* supposent une étendue de durée de vie respective de 3 à 6 ans et de 5 à 8 ans (4-5 ans et 6 ans en moyenne).

Abstract

The pattern of growth larval habitat *Petromyzon marinus* et *Lampetra* sp. preferences was examined in 4th order rivers Livenne, Cère, Dronne and in the 6th order river Dordogne (modules from 279 to 2,5 m³/s). From shallow waters to deepwater areas, the same dredging technique was used while diving to catch burrowing larvae. Sampled sections of rivers were chosen downstream of one spawning ground at least. Larvae aggregated at sites presenting a soft river bed in deep macrohabitats or shallow waters, in slowly part and in backwater pool (stagnant waters in spreading zones, edgewater, bank , pool). Burrowing larvae distributions were strongly dependent upon particle size composition. The preferred sediment was sand (64%). Organic matter was always present (0.2 to 18.3% dry weight). Data were cumulated for the four rivers. The probability of larvae occurring within their preferred habitats was 45% (2.6 ind/m²) and 10% (0.35 à 0.11 ind/m²) within sub-optimal to no optimal habitats. Downstream spawning grounds, aquatic vegetation on hard river bottoms (gravels, pebbles) can strongly increase habitat for young of the year thanks to the deposition of flocculent.

The attempt at determination of the larvae of the two pair species of the *Lampetra* genus was continued on genetic bases. The regions of cyt-B and D-Loop mitochondrial DNA were analysed during the preceding phases of the study. In this work, other regions were investigated. Located between genes coding for ARNs of transfer Threonine and Glutamine and the cyt B, they did not prove more discriminating. Another technique, the RAPD, was also carried out with a great number of different starters and lampreys. These various tests couldn't differentiate *L. fluviatilis* from *L. planeri* in an unquestionable way. They didn't give different profiles according to the geographical origin of the animals. All the results put to think that they are two morphotypes of the same species. The migrating form *fluviatilis* and the sedentary form *planeri* are not genetically distinct within the lower part of the Gironde Garonne Dordogne basin at least.

Within two fisheries of the Garonne and Dordogne rivers, adult sea lampreys were sampled. The biological parameters obtained during 2003 and 2004 were compared. For the two rivers, 250 and 331 sea lampreys were examined (sex, size and weight). On the whole of the season, the sex-ratio remained near to 1:1. It appeared slightly in favour of the males at the beginning of season. In the Dordogne river, the mean size and the mean weight of adult sea lampreys were significantly more important than in the Garonne river. Within the migrant waves of females, the maturity progresses regularly throughout the season of fishing.

In order to determine the individual age of the adult migrants, the statoliths were used. Approximately, a third of them presented a mark. It was more opaque and thicker than the traditional seasonal marks close to the base of the calcified part. The assumption of a mark in relation with the phase of the metamorphosis was advanced. A microchemical analysis of the statolith was realized. A peak of Strontium/Calcium ratio was linked with each one of these atypical marks. However, the range of values was relatively low (4 10⁻³ to 1 10⁻³). A validation has to be done for this mark. The estimates of *L. fluviatilis* and *P. marinus* total age gave a mean age of 4-5 and 6 years (range : 3 to 6 years and 5 to 8 years).

SOMMAIRE

1. Introduction	1
2. Contexte général	3
3. Aire d'étude et rivières considérées	7
4. Matériel et méthodes	11
4.1. La caractérisation des habitats larvaires	11
4.1.1. Classifications des habitats retenues	11
4.1.2. Echantillonnage dans les habitats	11
Mise au point d'une technique de capture des larves	13
Répartition de l'effort d'échantillonnage et fréquence d'apparition des larves dans les macrohabitats	15
4.1.3. Différenciation des larves de lamproies au genre	17
Rappel sur la mise au point d'un test de génotypage	17
Procédure suivie	17
4.1.4. Analyses granulométriques	18
4.1.5. Analyses de données	18
4.2. L'échantillonnage du genre <i>Lampetra</i> en vue des analyses génétiques	19
4.3. La caractérisation démographique des adultes migrants	21
4.4. Les tentatives de détermination d'un âge individuel à l'aide des statolithes	23
4.4.1. Au stade larvaire	23
Croissance des statolithes	23
Méthodes de lecture	23
Estimation d'un âge	25
4.4.2. Au stade adulte	25
Croissance des statolithes	25
Analyses du rapport Strontium/Calcium	26
Chronologie des événements retenus en vue de l'estimation d'un âge	29
Estimation d'un âge	30
4.4.4. Accord de lectures	31
5. Résultats	33
5.1. La caractérisation des habitats zones de grossissement des larves	33
5.1.1. Distribution en taille, poids et âge des fractions de population larvaire des lamproies	35
5.1.2. Utilisation des habitats aquatiques	37
5.2. La tentative de détermination des espèces du genre <i>Lampetra</i>	41
5.2.1. Rappels des résultats de la phase II	41
5.2.2. Résultats de la phase III	41

Recherche d'autres régions d'intérêt dans le génome mitochondrial	41
Méthode de typage RAPD	43
5.3. La caractérisation démographique des adultes migrants	47
5.3.1. Caractéristiques générales	47
5.3.2. Influences des variables environnementales sur les variations des paramètres démographiques	49
Paramètre sexe ratio	49
Paramètres taille, poids, relation taille-poids et RGS	49
5.3.3. Tentative de détermination d'un âge	51
Le cas <i>P. marinus</i>	51
Le cas <i>L. fluviatilis</i>	52
6. Discussion et perspectives	53
6.1. Les Habitats de grossissement des larves	53
6.1.1. Classification des habitats larvaires	54
6.1.2. Technique d'échantillonnage	55
6.2. Le cas du complexe plano-fluviatilis	57
6.3. L'estimation de l'âge à partir des statolithes	59
6.4. Les adultes migrants	60
7. Conclusion	63
Remerciements	65
Bibliographie	65
 Annexes	

1

Introduction

Cette étude a pour maître d'ouvrage l'unité Ecosystèmes estuariens et poissons migrateurs amphihalins du *Cemagref* de Bordeaux. Elle répond au besoin d'une meilleure connaissance écologique et biologique nécessaire à la conservation des deux espèces de lamproies migratrices et commercialisées, à savoir la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) et la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*).

Dans le cadre d'une attente exprimée par les acteurs locaux ⁽¹⁾, elle fait suite à la première étude française réalisée voici vingt ans ⁽²⁾ dans les bassins de la Garonne et de la Dordogne. Elle correspond aussi à un regain de considération pour ces espèces au niveau national ⁽³⁾. Elle rentre, de plus, dans une optique européenne de soutien au développement régional ⁽⁴⁾ du fait de la valeur patrimoniale et socio-économique des deux espèces.

Le premier des objectifs de cette étude est d'établir un référentiel des habitats continentaux utilisés par espèce et par écophase. L'axe principal des bassins versants retenus est l'estuaire de la Gironde jusqu'à la partie lotoise de la Dordogne ⁽⁵⁾, ce fleuve étant plus fréquenté par les deux espèces migratrices que le fleuve Garonne. Ce réseau accueille également la troisième espèce de lamproie présente en France, non migratrice et non exploitée, la lamproie de planer (*Lampetra planeri*). Cette dernière a la particularité d'être suffisamment proche physiologiquement de *L. fluviatilis* pour ne pas pouvoir être distinguée de cette dernière au stade larvaire sur une simple analyse morphologique classique. Aussi, afin de décrire correctement les habitats et donc la biologie de *L. fluviatilis*, la mise au point d'une méthode de différenciation de ses larves par rapport à celles de *L. planeri* reste indispensable. A cette fin, une approche génétique ayant été retenue, le *Cemagref* s'est adjoint les compétences du laboratoire de biologie moléculaire de l'ENITA de Bordeaux.

Le deuxième objectif est de compléter les informations déjà fournies par le suivi de la pêche professionnelle de la lamproie marine au niveau du système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne, ceci en collaboration avec les associations des pêcheurs professionnels. Il s'agit d'obtenir des indicateurs halieutiques estimés d'assez bonne qualité et informatifs sur l'évolution du stock de géniteurs ; le suivi de la pêche étant également l'occasion de caractériser biologiquement les fractions génitrices migrantes vers les frayères.

En mars 2002, ce travail monté sur la base de trois tranches fonctionnelles démarre officiellement. Chaque tranche fait l'objet d'un à plusieurs rapports. Ces derniers correspondent au rendu soit d'état d'avancement des travaux (Taverny et Urdaci, 2003) soit de résultats de volets d'étude. Ainsi, l'analyse du suivi et de l'évolution des stocks exploités de lamproie marine est donnée dans le rapport de novembre 2003 (Taverny et al. 2003 / Etude 89.I). La caractérisation des adultes migrants *L. fluviatilis* de la saison 2004 fait l'objet d'un

¹ Confrérie de la lamproie. Actes du Colloque « Université de la Lamproie » du 28, 29 et 30 avril 2000

² Etude C.T.G.R.E.F., Ducasse & Leprince, 1980.

³ Groupe de Recherches d'Intérêt Scientifique sur les Amphihalins (GRISAM) & Etude I.N.R.A., Sabatié, 1998

⁴ Fonds Européen de Développement Régional : FEDER

⁵ En partenariat technique avec les Brigades Départementales et la BMI du Conseil Supérieur de la Pêche

rapport intermédiaire (Etude 89.II – Taverny, 2004). La caractérisation des habitats zones de frayère et la mise au point d'un test de génotypage entre les genres *Petromyzon* et *Lampetra* sont décrites dans le rapport de juillet 2004 (Taverny et al., 2004 / Etude 89.III).

La 3^{ème} tranche, objet du présent rapport, fournit principalement :

- la caractérisation des habitats zones de grossissement des larves
- les derniers résultats des tentatives de différenciation génétique au sein du genre *Lampetra*
- les caractéristiques démographiques des lamproies marines adultes migrantes des deux saisons 2003 et 2004⁶.
- la tentative d'une détermination de l'âge individuel aux stades larvaire et adulte.

⁶ Seule cette espèce a pu faire l'objet d'un suivi pendant deux saisons consécutives, ce qui n'a pu être le cas avec la lamproie fluviatile, absente des captures de la pêche aux bourgnes en 2004

2

Contexte général

Les guides de faune décrivent trois espèces de lamproies en France : la lamproie marine (*Petromyzon marinus*) la lamproie fluviatile ou de rivière (*Lampetra fluviatilis*) et la lamproie de planer (*Lampetra planeri*). Les deux premières sont des prédatrices-parasites migratrices amphihalines. Elles effectuent environ 70% de leur cycle biologique en eau douce au stade larvaire. Parvenues au stade juvénile après une métamorphose, elles prennent l'allure générale des adultes (yeux, disque buccal, nageoires développées) et dévalent les cours d'eau pour atteindre la mer. Après une phase de grossissement en mer (période de parasitisme) les lamproies, devenues adultes, reviennent en eau douce pour s'y reproduire. Pêchées au moment de la montaison, elles présentent alors un intérêt socio-économique important (Figure 1). La lamproie de planer n'est ni parasite ni migratrice amphihaline ni commercialisée.

Au stade adulte, les tailles et poids moyens respectifs de ces trois espèces sont nettement différents (Figure 2). Au contraire, au stade larvaire et jusqu'à une taille d'environ 50-60 mm, aucun critère morphologique ne permet de distinguer de manière fiable les 3 espèces que l'on peut retrouver enfouies, aux mêmes endroits, dans les sédiments des cours d'eau (Figure 3). Au delà de cette taille, la forme et la pigmentation de la nageoire caudale permettent de séparer les deux genres *Petromyzon* et *Lampetra* mais *L. fluviatilis* et *L. planeri* restent indifférenciables (Figure 4).

Les statolithes constituent le seul tissu dur disponible chez les lamproies. Ce sont des agrégations calcaires localisées dans le labyrinthe de l'oreille interne, à l'instar des otolithes chez les poissons (Figure 5).

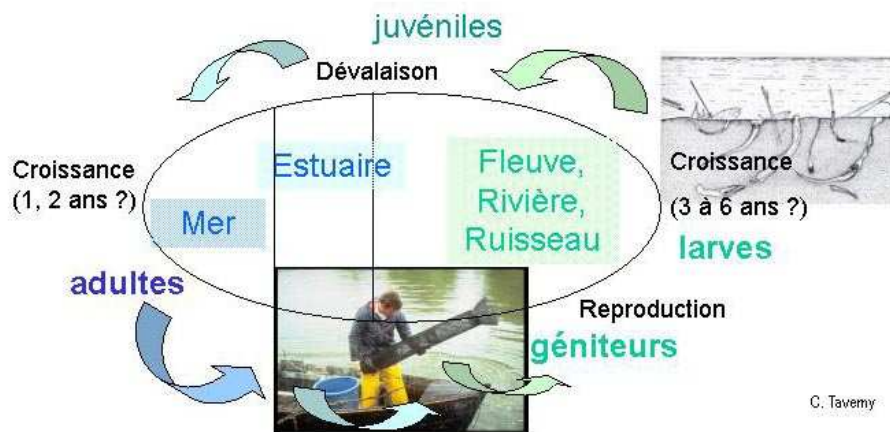


Figure 1 : Cycle biologique des lamproies migratrices

Dans le bassin de la Gironde, la pêche des lamproies concerne *P. marinus* et *L. fluviatilis*. Depuis une vingtaine d'années, seule la lamproie marine fait l'objet d'une pêche ciblée menée principalement à l'aide de deux métiers de pêche : le filet tramail et les bourgues (ou nasses) (Figure 6).



Figure 2 : Comparaison des trois espèces au stade adulte : une lamproie marine de 75 cm, une lamproie fluviatile de 27 cm et une lamproie de planer de 10 cm (bassin Gironde Garonne Dordogne).

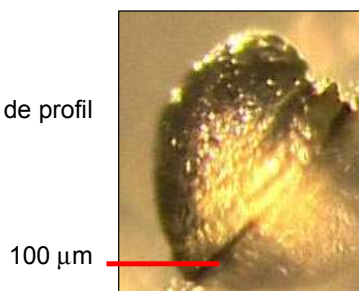


Figure 3 : Larve du genre *Lampetra* d'une taille de 25 mm



Figure 4 : Larves de *Petromyzon marinus* (a) et du genre *Lampetra* (b) avec en zoom la région de leur nageoire caudale

Figure 5 : Statolithe vue de profil



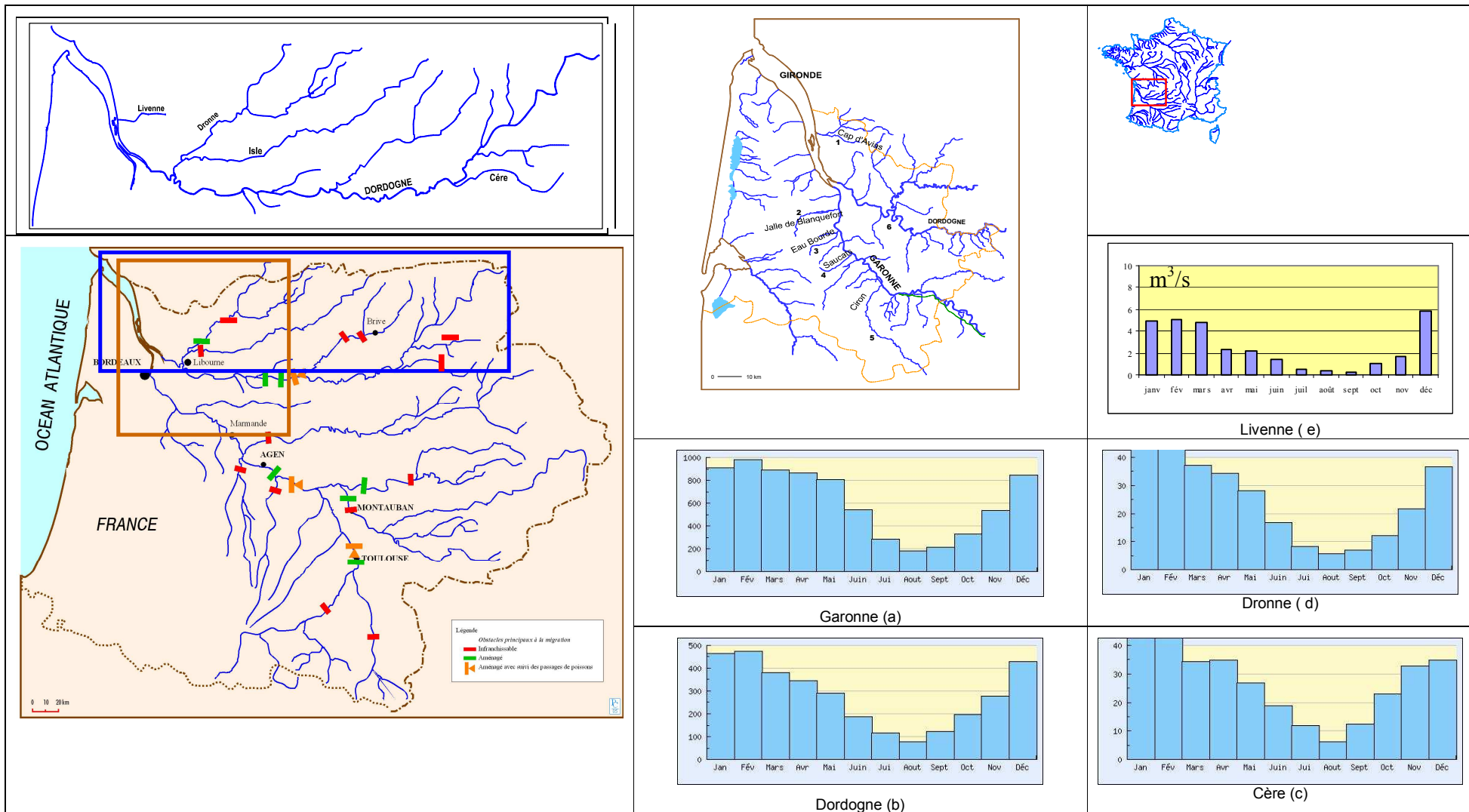
La capture accidentelle de la lamproie fluviatile se produit dans la partie basse des cours d'eau (en amont de la limite de marée dynamique) durant la pêche aux bourgnes de la lamproie marine. La période de production s'étale du mois de novembre d'une année au mois de mai de l'année suivante (Cemagref, 1982).

La production nationale (Loire, Adour et Garonne-Dordogne) de la lamproie marine est de 140 tonnes pour une valeur de 15.4 millions de francs avec la plus grosse exploitation halieutique supportée par le bassin de la Gironde (Castelnaud et Babin, 1992 ; Castelnaud, 2000).



Figure 6 : La pêche de la lamproie marine au filet (a) aux bourgnes (b)

Sur l'ensemble du territoire national français, les lamproies *P. marinus*, *L. fluviatilis* et *L. planeri* sont protégées et peuvent faire l'objet de mesures de protection de biotope (arrêté du 8.12.1988). La convention de Bern (19-09-1979) qui vise à protéger la faune et la flore et leurs habitats naturels les liste en Annexe III. Depuis la Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992, elles font aussi partie des espèces prioritaires d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation ou ZSC (Annexe II). Les mesures à prendre doivent concerner à la fois les zones de reproduction, les zones de nourrissage ainsi que les zones éventuelles de migration.



3

Aire d'étude et rivières considérées

Le réseau hydrographique du bassin de la Gironde Garonne Dordogne (Figure 7) a été considéré à différents niveaux.

Une approche globale en terme de bassin versant a été recherchée vis à vis de la caractérisation des habitats de larves des trois espèces de lamproies. Aussi, des cours d'eau de catégories d'ordre⁷ 4 à 6 (petite rivière jusqu'au fleuve) répartis plus ou moins haut sur l'axe Gironde Dordogne et colonisés par au moins une des deux lamproies migratrices ont été sélectionnés. Il s'agit de la Livenne, la Dronne, la Cère (d'ordre 4) et la Dordogne (d'ordre 6).

Les analyses génétiques se sont appuyées sur des échantillons de lamproies provenant du fleuve Dordogne et de divers tributaires répartis sur la partie basse du bassin versant de la Gironde.

En ce qui concerne la caractérisation démographique des lamproies adultes migrantes, les échantillonnages ont été réalisés au niveau des fleuves Garonne et Dordogne, dans des secteurs proches de la limite de l'influence de la marée.

La Garonne

La Garonne est le principal fleuve du sud-ouest de la France. Elle prend sa source en Espagne, au Val d'Aran, à 1 870 mètres d'altitude dans les Pyrénées (massif de la Maladetta) avant d'entrer en France à Pont-du-Roi (Haute-Garonne). Longue de 525 km, elle est le collecteur d'un vaste bassin d'environ 55 000 km² alimenté à la fois par les Pyrénées et le Massif Central. Elle traverse quatre départements et deux régions (Midi-Pyrénées et Aquitaine). Au Bec d'Ambès, près de Bordeaux, la Garonne rejoint la Dordogne pour former l'estuaire de la Gironde. Sa catégorie d'ordre est de type 7. L'influence de la marée est perçue jusqu'à 10 km en amont de Langon

Après avoir été un torrent dans les Pyrénées, la Garonne se transforme en rivière dans une vallée coupée de terrasses (pente > 1 ‰). La plaine d'inondation encore réduite (250m) en amont de Toulouse s'étale ensuite (2 à 4km) en aval de la confluence de la rivière Tarn (pente < 0.5 ‰). Les caractéristiques géologiques, topographiques et climatiques sur le bassin versant de la Garonne se traduisent par des crues brutales, violentes, rapides et relativement fréquentes. Le régime du fleuve est de type pluvio-nival. Son débit moyen est d'environ 625 m³/s au niveau du Bec d'Ambès. Son débit moyen d'étiage de fréquence quinquennale sèche est de 90 m³/s à Tonneins (Figure 7).

Depuis le piémont jusque dans la vallée, l'activité principale est agricole (élevage, cultures). Une puissante industrie agro-alimentaire se répartit sur tout le bassin. Dans le secteur pyrénéen, la densité des barrages est forte. Sur les premiers 125 km du cours d'eau, il existe 20 barrages hydroélectriques. Des chutes importantes sont exploitées par EDF. La plus aval est celle de Malause-Golfech. Elle est équipée d'un ascenseur à poissons depuis 1987. Les

⁷ Selon la méthode de classification d'un réseau hydrographique d'Horton. Le réseau est composé d'un cours d'eau principal et d'une série de tributaires dont les ramifications s'étendent vers les parties les plus hautes du bassin versant. Les tributaires n'ayant pas d'apports sont des vecteurs d'ordre 1. Ceux dont les apports sont exclusivement des vecteurs d'ordre 1 sont des cours d'eau d'ordre 2 et ainsi de suite

deux barrages amont (Bazacle et Ramier) sont équipées de passes à poissons à bassins successifs.

Entre Toulouse et Bordeaux, la qualité de l'eau est influencée par les rejets domestiques et industriels des agglomérations (pollution organique et azotée) ainsi que par les confluent. Ces derniers apportent des nitrates (agriculture). Le bassin du Lot génère aussi une pollution chronique par le cadmium venant des résidus des mines. Même si sa qualité reste encore médiocre en aval de Bordeaux, globalement, la Garonne apparaît peu polluée comparée à d'autres grands fleuves européens.

En partie médiane, au niveau de Golfech, la température de l'eau peut évoluer de 20 à 28 °C en été et de 1 et 11°C en hiver. Le pH se situe entre 7,5 et 8,2. La conductivité, qui représente la minéralisation globale de l'eau, évolue en moyenne entre 200 et 250 µS/cm.

Les zones de frayère de la lamproie marine sur la Garonne ne sont pas encore bien localisées en raison de la turbidité des eaux. Cette espèce est susceptible de se reproduire jusqu'aux abords de Saint-Gaudens (département de Haute-Garonne). Les frayères les plus amont de la lamproie fluviatile semblent se situer au niveau des environs de Marmande (département du Lot-et-Garonne) soit bien en aval du barrage de Malause-Golfech.

La Dordogne

La Dordogne prend sa source au Puy de Sancy à 1727 m d'altitude (département du Puy de Dôme). D'un linéaire proche de 475 km, elle rejoint la Garonne au Bec d'Ambès pour former l'estuaire de la Gironde, long de 76 km qui se jette dans l'Océan Atlantique. Le bassin versant de la Dordogne couvre 24 500 km². Sa catégorie d'ordre est de type 6.

Dans sa partie amont, depuis sa source jusqu'au confluent de la Cère, ce fleuve souvent encaissé s'écoule sur des roches volcaniques et métamorphiques. Puis il gagne un paysage au caractère plus ouvert sur un sol de roches calcaires.

Dans cette partie médiane, sa pente moyenne est d'environ 0.5 ‰ (0.4 à 1.2 ‰) et sa largeur de 80 m. Parvenu en Gironde, le cours de la Dordogne devient sinueux et traverse des paysages plats marqués par la présence du bourrelet de graves favorable à la viticulture (pente moy. < 0.1 ‰, largeur 100-200 m⁸). Cinq grands barrages répartis sur la partie amont (Bort les Orgues, Marèges, l'Aigle, le Sablier, du Chastang) régulent son niveau tout en assurant une production hydro-électrique. Sur la partie médiane, il existe des barrages de plus faible capacité (Bergerac - Tuilières - Mauzac) avec des passes à poissons construites depuis 20 ans.

La Dordogne et ses affluents amont sont très fortement soumis aux variations brusques de débits résultant des éclusées de certaines retenues hydroélectriques.

Le débit moyen annuel de la Dordogne est de 285 m³/s (lieu de référence : Bergerac). Son débit moyen d'étiage de fréquence quinquennale sèche est de 41 m³/s à Bergerac (Figure 7). Les crues de printemps sont fréquentes sur cet axe (pluviométrie, fonte des neiges).

Globalement, la qualité des eaux est bonne à très bonne dans le Lot. Elle se dégrade en période de pluie en raison de pollutions domestiques et industrielles apportées par certains de ses affluents dont la Cère. La traversée du département de la Dordogne amène un léger enrichissement en nitrates.

⁸ en amont de la limite de l'influence de la marée dynamique

Dans ses parties médiane et basse, la température de l'eau moyenne est aux environs respectivement de 12 ± 5 et 14 ± 7 °C. Le pH se situe entre 6,8 et 7,5. La conductivité évolue entre 60-70 $\mu\text{S/cm}$ dans sa partie médiane jusqu'à 200-280 $\mu\text{S/cm}$ dans sa partie aval (Anonyme, 1982).

Les zones de frayère de la lamproie marine se répartissent dans ce cours d'eau depuis sa partie basse (département de la Gironde) jusqu'au barrage d'Argentat dans sa partie amont (département de la Corrèze). Celles de la lamproie fluviatile se situent uniquement en partie basse (département de la Gironde) en aval du barrage de Bergerac.

La Cère

Située au Sud-Est du bassin de la Dordogne, la Cère est un de ses affluents de rive gauche (confluence dans le département du Lot). Son bassin versant traverse 3 départements selon une orientation générale Est-Ouest. D'une longueur de 119 km, le lit de cette rivière prend sa source dans les Monts du Cantal à 1289 m d'altitude. Son bassin versant de 1054 km² draine des formations très différentes allant des roches volcaniques à sédimentaires. Sa catégorie d'ordre est de type 4 .

La Cère traverse dans sa partie haute des vallées plus ou moins encaissées, boisées ou à prairies, puis s'écoule dans des gorges profondes avant d'aboutir dans sa partie basse à une large vallée cultivée en aval de la retenue de Brugales (Laval-de-Cère). Seul ce tronçon, appelé « Basse Cère » (longueur réduite 12 km, largeur de 20 à 45m) intéresse l'étude. La variation d'altitude y est de quelques dizaines de mètres (pente de 2⁰/₁₀₀).

L'évolution du débit moyen mensuel peut aller de 5 m³/s en période d'étiage à 45 m³/s en hiver et au printemps (station de mesure de Bretenoux - période 1983-1996, données DIREN) (Figure 7). Le débit de la Cère est influencé par le fonctionnement de grands barrages hydroélectriques (St-Etienne-Cantalès, Nèpes, Montvert, Lamativie et Brugales).

Ses eaux, jugées globalement de bonne qualité, subissent des dégradations ponctuelles dues aux concentrations en orthophosphates, en nitrates et en ions ammonium liées aux rejets urbains.

Dans sa partie basse, en été, la température peut évoluer entre 17 et 23°C. Le pH se situe entre 7 et 8. La conductivité est faible (60 $\mu\text{S/cm}$).

En partant de sa confluence avec la Dordogne, les 12 kilomètres du lit de la Basse Cère sont interrompus par de nombreux seuils franchissables à périodiquement franchissables. Parmi ces seuils, 3 sont équipés de passes à poissons et 2 alimentent des microcentrales (Gagnac et St Saury). Le premier obstacle infranchissable est celui de Brugales (barrage EDF).

Les zones de frayère de la lamproie marine se répartissent dans ce cours d'eau jusqu'en aval du barrage de Brugales.

La Dronne

La Dronne, affluent de l'Isle, traverse 5 départements selon une orientation générale Nord-Est. D'une longueur de 190 km, son lit prend sa source vers 400 m d'altitude. Son bassin versant de 2560 km² s'écoule essentiellement sur des formations sédimentaires (calcaires puis sablo-graveleuses). Elle traverse une région de plaines où l'agriculture intensive est en augmentation. Les forêts qui bordent le lit de la Dronne présentent une tendance à la régression. En Gironde, la pente de cette rivière reste inférieure à 3⁰/₁₀₀. Elle rejoint l'Isle en aval de la ville de Coutras dans le département de la Gironde. A partir de cette confluence, l'Isle parcourt encore 33 km avant de se jeter dans la rivière Dordogne.

Le débit moyen annuel de la Dronne est de 20 m³/s (Bonnes - période : 1969 à 1994). Au niveau de la station de mesure de Coutras, sur les dix dernières années, le débit moyen journalier maximal observé a été de 395 m³/s en janvier 1994 ; le débit moyen mensuel minimal de fréquence médiane étant de 7.1 m³/s (données de la banque HYDRO DIREN) (Figure 7).

Ses eaux, jugées de bonne qualité, ont pour paramètre déclassant les nitrates. Dans sa partie basse, en été, la température maximale peut évoluer entre 22 et 25°C. Le pH moyen se situe autour de 8.2.

Tout au long de son cours, la Dronne présente de nombreux barrages d'anciens moulins. En Gironde, le premier barrage rencontré est celui de Coutras. Depuis 1994, il est équipé d'une passe à bassins successifs conçue pour l'espèce migratrice *Alosa alosa*. Treize kilomètres en amont, le moulin de Monfourat (moulin fondé en titre depuis 1582) constitue le premier obstacle. Il n'est que très rarement franchissable (lors de crues).

Le secteur considéré dans le cadre de cette étude a pour limites la confluence avec l'Isle en aval et le barrage de Monfourat en amont.

Les zones de frayère des lamproies marine et fluviatiles se répartissent dans la partie girondine de ce cours d'eau depuis la confluence avec la rivière Isle jusqu'au barrage de Monfourat.

La Livenne

La Livenne, affluent direct de l'estuaire de la Gironde, prend sa source dans le département de la Charente-Maritime vers 125 m d'altitude. Sa longueur est modeste, environ 35 km. La pente moyenne est de 4.5 ‰. De catégorie d'ordre 4, elle s'écoule selon une orientation générale Est-Ouest sur des formations pour moitié perméables dans une région de terres agricoles et de bois. Son bassin versant est de 222 km² au niveau de St Aubin de Blaye. Avant de se jeter dans l'estuaire de la Gironde, cette rivière, canalisée au niveau des marais de la Vergne (canal Saint Georges), est saumâtre et soumise à l'influence de la marée. Les trois grands canaux, qui encadrent le marais de la Vergne, reçoivent les eaux de la Livenne et de son affluent le canal des Moulins.

Le débit moyen annuel de la Livenne est de 2.5 m³/s (lieu de référence : St Aubin de Blaye - période : 1976-1982). Le débit journalier maximal observé a été d'environ 30 m³/s en décembre 1982 ; le débit moyen mensuel minimal de fréquence quinquennale (1977-1982) étant de 0.17 m³/s (données DIREN Aquitaine) (Figure 7).

En été, la température maximale ne dépasse pas 20 °C. Le pH moyen se situe autour de 7,5 - 8. Ses eaux, jugées de bonne qualité (données AEAG, 1992), sont cependant dégradées par les rejets de la distillerie vinicole du Blayais ; ainsi entre l'aval de Marcillac et l'entrée du marais de la Vergne la qualité est médiocre à passable⁹.

Tout au long de la Livenne, de nombreux barrages d'anciens moulins jalonnent ensuite son cours. Le premier obstacle infranchissable se situe à Marcillac (ancien moulin de Vignolles).

Les zones de frayère des lamproies fluviatiles essentiellement et marine se répartissent en aval du moulin de Vignolles (département de la Gironde).

⁹ Paramètres déclassants : matières en suspension, organiques, azotées et phosphorées – 150 mg/l en DCO

4

Matériel et méthodes

4.1. La caractérisation des habitats larvaires

4.1.1. Classifications des habitats retenues

Le principe de la sectorisation morpho-écologique d'un cours d'eau selon a été adopté (Figure 8).

Le macrohabitat (ou faciès) est une unité d'écoulement fondamentale des cours d'eau avec une physionomie générale homogène sur le plan des hauteurs d'eau, des vitesses et de la granulométrie (Annexe 1). La détermination des macrohabitats principaux et secondaires s'inspire des clés de détermination proposées par et Malavoi et Souchon (2002) (Tableau 1). Elles sont applicables, en période d'étiage, à la fois pour les cours d'eau de taille moyenne et plus larges (> 100 m).

Le mésohabitat (ou ambiance) fait intervenir des paramètres plus écologiques. Il existe une typologie qualitative inspirée par les études menées spécifiquement aux Etats-Unis sur les larves de lamproie marine (; Klar et Weise, 1994). Elle se décline en trois classes selon Slade et al. (2003b) d'après le degré de compacité des substrats et la composition de ces derniers (Tableau 2). Un autre type de classification qualitative en 9 catégories est également utilisé afin de faire ressortir l'importance de certaines ambiances. La lecture de ces dernières se fait selon trois approches : granulométrique, nature de l'ambiance organique (végétaux aquatiques, litière, embâcles) et contexte morphodynamique (Tableau 3).

Enfin le microhabitat correspond aux conditions physiques observées au niveau de l'individu. Dans le cas des larves de lamproies qui vivent enfouies dans le substrat, il se définit par la nature et la granulométrie ambiante des sédiments.

4.1.2. Echantillonnage dans les habitats

Les échantillonnages ont démarré en 2002 sur la Livenne, la Cère et la Dronne en amont de Coutras. Ils se sont poursuivis en 2003 sur la Dronne en aval de Coutras ainsi que sur la Dordogne dans les départements de la Gironde (entre Eynesse et Pessac/Dordogne) et de la Dordogne (aval de Bergerac). En 2004, un complément d'échantillonnage a été réalisé en aval de Bergerac. Les campagnes d'échantillonnage ont été réalisées durant la période des basses eaux (septembre, octobre) de 2002 à 2004.

Des tronçons et des segments de rivière ont été retenus en fonction de leur facilité d'accès et de leur potentiel à accueillir des larves (Figure 9). Cette dernière condition est remplie, à priori, si au moins une zone de frai réelle à lamproie migratrice est située en amont¹⁰. Ces secteurs devaient aussi présenter le plus de macrohabitats différents considérés comme autant de strates. Leur importance a été estimée à l'intérieur des segments retenus afin de développer un effort de pêche en proportion avec leur surface.

¹⁰ Informations apportées entre autres par le travail de caractérisation des zones de frayère réalisé sur ces cours d'eau (Taverny et al., 2004)

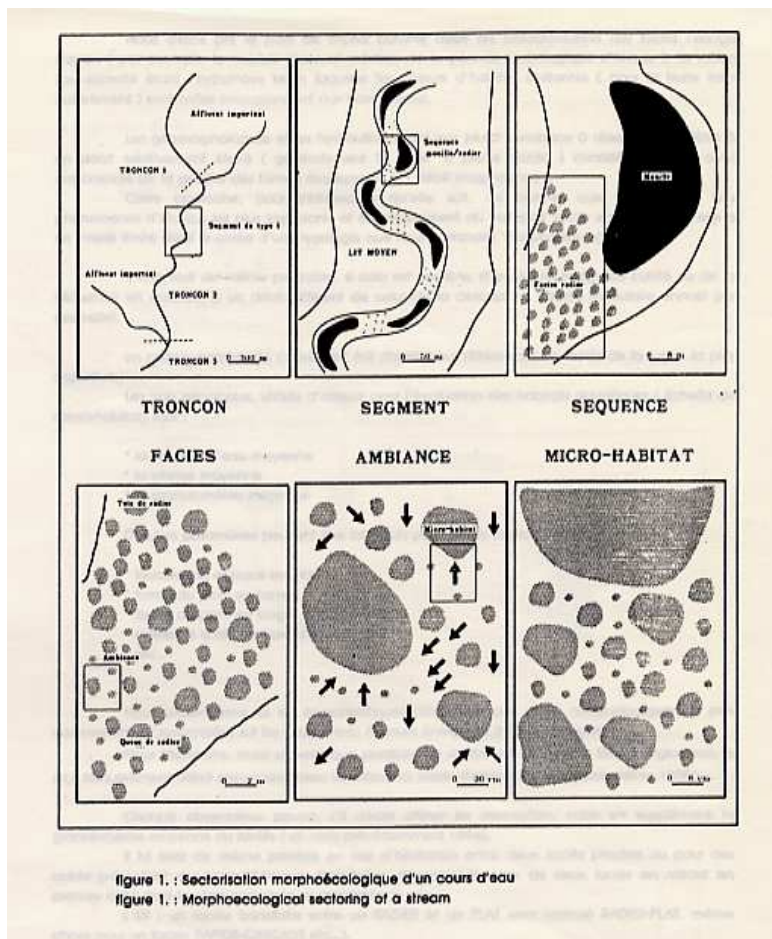


Figure 8 : Sectorisation morpho-écologique d'un cours d'eau (Malavoi, 1989)

Tableau 1 : Les faciès d'écoulement d'après Malavoi (1989) Malavoi et Souchon (2002) et complétés

Type	Faciès principal	Observations	Faciès 2aire	Hauteur d'eau cm		Vitesse cm/s		Granulométrie
Mouilles (M.)	MOU	M. lotique M. de concavité * Fosse de dissipation d'obstacle Fosse d'affouillement Anse d'érosion	MOL MOC FOD FOA ERO	forte	> 60	faible	< 30	soumises à l'affouillement
		M. amont d'obstruction	MOO					
		Chenal lentique	CHE					
Banc de convexité	BAN	associé à *		décroissante vers l'intérieur		faible à nulle		variable graviers à fines
Radier	RAD	unité de longueur faible (inférieur à la largeur du lit) turbulences		faible		moyenne	> 30	graviers à cailloux
Plat	PLA	lit assez large sans rupture de pente		faible et uniforme		moyenne faible	↓	inférieure ou égale à la classe cailloux
		Plat courant	PLC				> 30	
		Plat lent	PLL				< 30	
Rapide	RAP	lit à pente forte > 4% turbulences fortes, écumes		faible à moyenne	< 60	forte		blocs et rochers
Escalier	ESC	entre rapide et cascade pente du lit très escarpée		variables selon le secteur considéré			> 30	
Cascade	CAS	turbulences fortes ruptures de pente très marquées				rochers		
Chute	CHU	turbulences fortes rupture de pente de 1 à plusieurs mètres				variable		
Chenal lotique	CHO	pente moyenne à forte		moyenne à forte		moyenne à forte		étendue cailloux à blocs
Eau morte (lone)	LON	dans les rivières méandriques		moyenne à forte		très faible à nulle	≅ 0	celle de l'ancien lit + dépôt de fines
Zone d'étalement	ETA			faible				
Bordure de lit	BOR							

L'emplacement des stations à l'intérieur d'un macrohabitat a été réparti au hasard. Dans le cas des grands macrohabitats, la répartition correspondait à un type emboîté.

La surface d'une station, représentative du mésohabitat (ou ambiance), pouvait s'étendre de 1 à 2 m². A l'intérieur d'une station, la surface des sédiments sondés variait entre 0.1 et 2 m². Des mesures de la profondeur en eau, de la vitesse du courant 3 cm au dessus du substrat (modèle 2000 Flo-Mate) étaient réalisées à chaque station.

Le mésohabitat étant déterminé par la composition granulométrique et le taux de matières organiques à la surface du substrat, les premiers centimètres (5 à 20cm selon la nature du fond) ont été collectés à l'aide d'un tube à piston (diamètre intérieur 48mm).

D'autres paramètres ambiants (température, pH, oxygène dissous, conductivité) ont été relevés à l'échelle du segment prospecté.

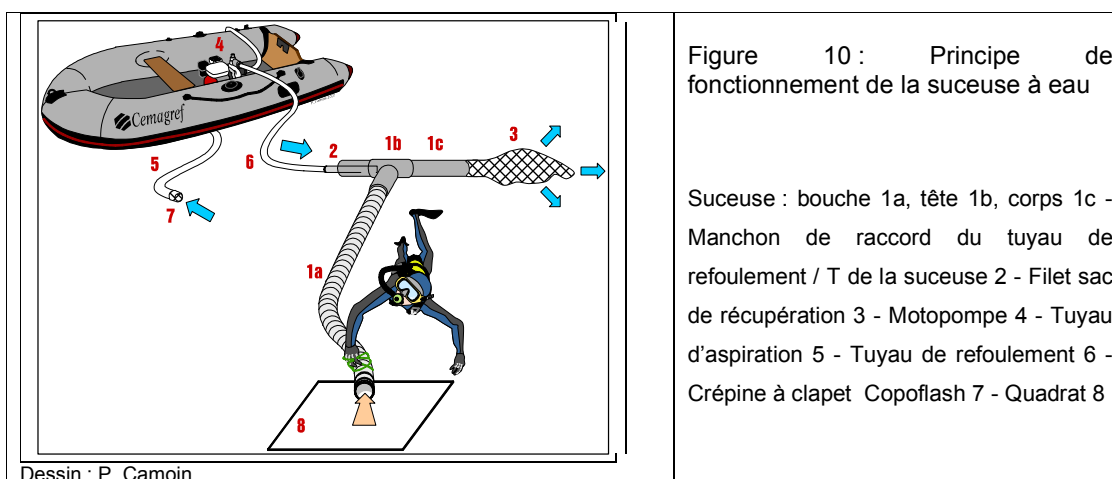
Mise au point d'une technique de capture des larves

Une suceuse à eau a été utilisée en plongée afin d'être en mesure de prospecter dans la plupart des faciès quelque soit la profondeur, la granulométrie et la turbidité environnantes. Deux tailles de bouche de suceuse ont été respectivement utilisées (75 mm de diamètre sur la Livenne ; 125 mm sur les autres cours d'eau). Dans notre cas, le diamètre du tuyau impose un débit de refoulement maximum de 10 m³/h ; la vitesse à l'entrée de la bouche se situe aux alentours de 2 m/s ; des filets manchons à petit maillage (≤ à 1mm) d'une contenance de 0.05 à 0.2 m³ ont été fixés au corps de la suceuse (Figure 10 - Annexe 2).

Afin de ne pas perturber le milieu à échantillonner par des sédiments remis en suspension lors du sondage, le travail a débuté par les stations les plus aval.

Une fois l'aspiration à l'aide de la suceuse terminée, le filet de réception était ramené en surface afin d'être vidé. Le tamisage des sédiments et la récupération des larves ont été faits sur place (maille carrée de 1mm). Les larves ont été ensuite anesthésiées à l'Eugénol⁽¹¹⁾ puis sacrifiées par une overdose de ce même produit et conservées dans de l'éthanol à 95°.

L'examen mené sous stéréomicroscope des larves collectées à l'aide de la suceuse a permis de confirmer le parfait état de chacune d'entre elles.



¹¹ Huile de clou de girofle (innocuité sur l'environnement et sur l'homme)

Tableau 2 : Classification des habitats larvaires selon Slade et al. (2003b)

Type I	Type II	Type III
Substrat doux	Substrat ferme	Substrat dur
mélange de sable et de matières organiques, végétaux aquatiques, zones de dépôt	sable remanié, avec parfois des particules grossières présentes et peu de matières organiques	particules grossières tassées, couche argileuse, roche

Tableau 3 : Les mésohabitats distingués

Code	Définition synthétique	Observations complémentaires
SS	Sables stables	sables fins en surface, mélangé parfois avec des débris de bois grossiers en surface ou en profondeur
SC	Sables changeant	sables grossiers, sables dominants en surface et graviers dessous
LO	Litière organique	tapis de feuilles mortes plus ou moins décomposées, de petits débris de bois, d'algues en aval d'obstacles tels que les embâcles et dans les zones de contre-courant (bordures, anes)
SVA	sables et végétaux aquatiques	végétaux aquatiques poussant sur fond sablonneux de manière assez clairsemée pour que la nature du fond se voit
BVA	boue et végétaux aquatiques	en zone lenticule Exemples avec les zones à nénuphars en bordure de lit et dans les zones d'étalement
ESM	embâcles et sédiments meubles	Débris de bois grossiers avec du limon, de la vase
MVA	substrat grossier colonisé par des massifs de végétaux aquatiques compacts	en zone ± lenticule substrat graveleux à caillouteux *
GVA	substrat grossier colonisé par des pieds disséminés de végétaux aquatiques	en zone ± lotique substrat graveleux à caillouteux
SD	Substrat grossier pur	substrat graveleux, caillouteux, roche mère

* : non visible depuis la surface au dessus du massif lui-même

Répartition de l'effort d'échantillonnage et fréquence d'apparition des larves dans les macrohabitats

136 stations ont été échantillonnées sur les 4 cours d'eau, réparties sur 9 types de macrohabitats différents : chenal lentique, mouille (m. de concavité, encoche d'érosion), plat, banc, bordure, chenal lotique, radier, lone (ou bras mort) zone d'étalement. En terme de surface, les trois premiers macrohabitats sont les plus représentés parmi les segments de rivières retenues dans cette étude. Malgré un effort de pêche décroissant depuis les macrohabitats les plus représentés en terme de surface vers ceux les plus réduits, la tendance de la fréquence d'apparition d'au moins une larve par station a augmenté en sens inverse. Elle est restée nulle cependant pour le macrohabitat de type radier.

Pour des raisons techniques, l'entité chenal lotique a été sous-échantillonnée sur la Dordogne en regard de sa surface importante. En effet, les vitesses fortes d'écoulement qui règnent dans ce type de macrohabitat rend presque impossible tout travail en station. Seules des zones de chenal lotique (CHO) marginales colonisées par des macrophytes aquatiques qui ralentissent la vitesse du courant ont été explorées. Ces zones sont en fait plus représentatives des mésohabitats MVA et GVA (cf. tableau 3) que du macrohabitat CHO lui-même. Dans ce dernier, la fréquence d'apparition des larves considérée à l'échelle macrohabitat y est sur-évaluée (Figure 11).

Les hauteurs en eau au niveau des stations sont comprises entre 0.1m et 6m. L'effort de pêche total consenti a été de 100.5 m^2 ¹².

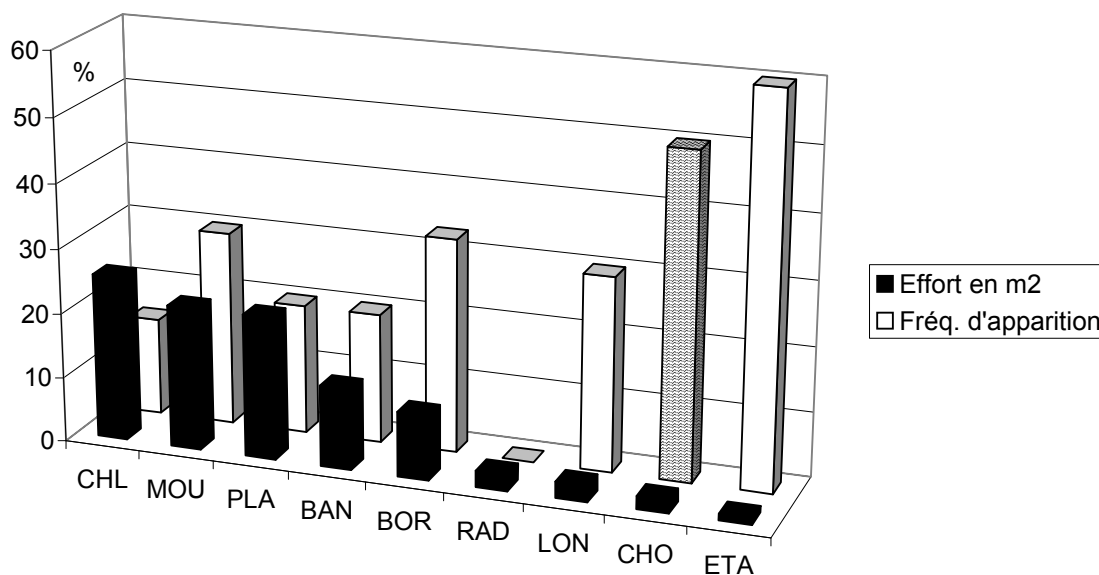


Figure 11 : Comparaison de l'effort d'échantillonnage en m^2 au sein des différents types de macrohabitat et de la fréquence d'apparition des larves – en gris : artéfact lié à l'ambiance

¹² ce qui donne en correspondance un volume et un poids totaux de sédiments tamisés d'environ 20 à 30 m^3 et 35 à 55 tonnes

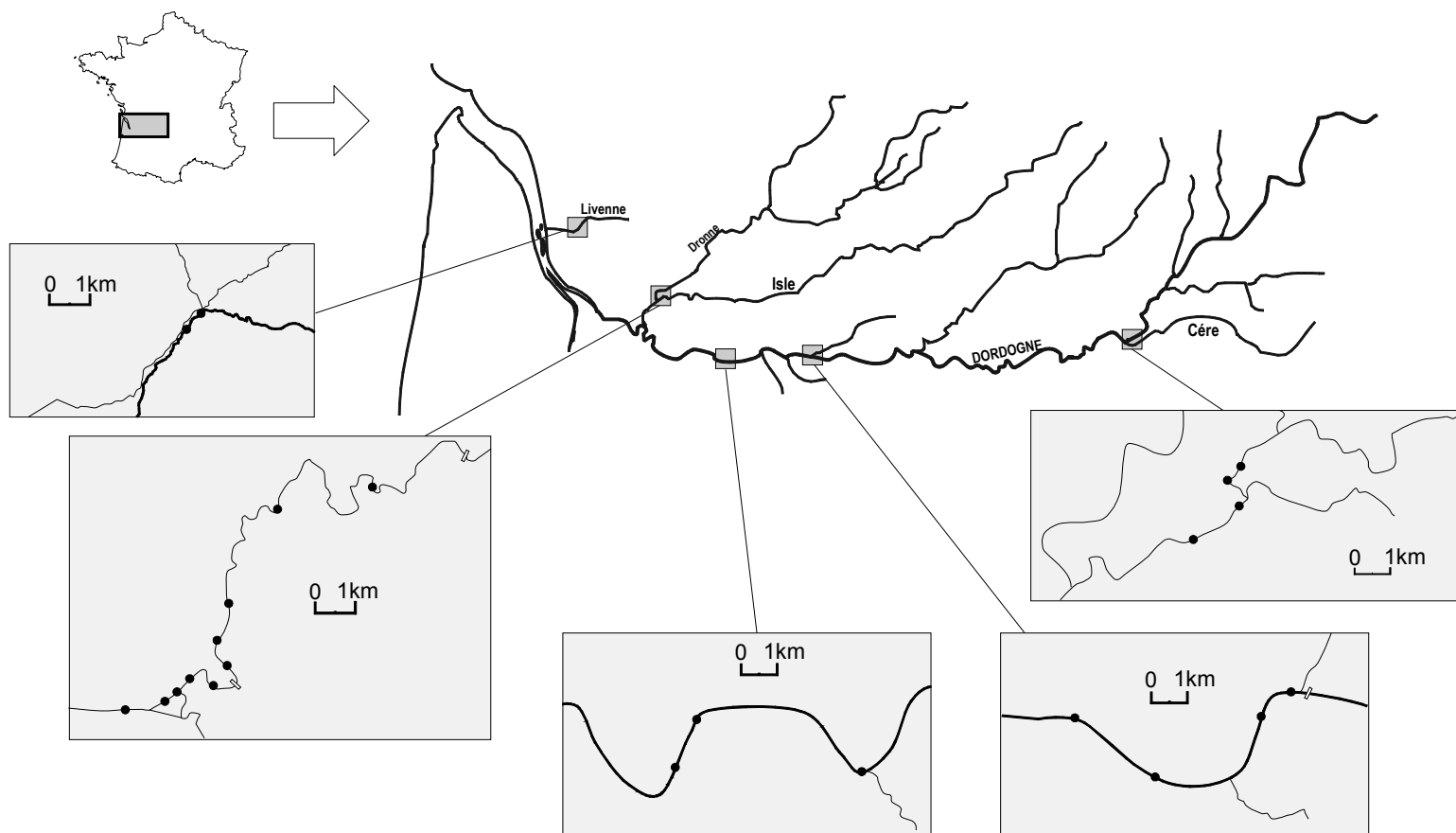


Figure 9 : Tronçons et sites d'échantillonnage (•) en vue de la caractérisation des habitats larvaires

4.1.3. Différenciation des larves au genre

Rappel sur la mise au point d'un test de génotypage

Afin de pouvoir identifier les petites larves de lamproies *Lampetra fluviatilis*, *Lampetra planeri* et *Petromyzon marinus*, indifférenciables par des méthodes morpho-anatomiques, nous avons expertisé, en phase II de l'étude (Taverny et al., 2004), une méthode génétique basée sur l'analyse du gène codant pour le cytochrome B mitochondrial (*cytB*).

L'ADN a été extrait à partir d'animaux adultes identifiables à l'espèce sans ambiguïté. Après amplification d'une partie du gène *cytB* par des amorces définies, les fragments PCR¹³ obtenus ont été séquencés, analysés comparativement entre eux mais aussi avec les séquences mitochondriales disponibles dans les banques de données. Les résultats ont montré que le gène de *P. marinus* se différenciait de celui de *Lampetra* mais aucune différence n'existait pour ce gène entre les "espèces" *fluviatilis* et *planeri*. Pour simplifier la méthodologie et s'affranchir du séquençage, PCR-RFLP¹⁴ a été mise au point. Le principe consiste à amplifier les fragments correspondant à une partie du gène *cyt B* par PCR puis à les couper par deux enzymes de restriction sélectionnées. Cette technique permet désormais d'obtenir les résultats rapidement (en 48h) et de différencier *P. marinus* et *Lampetra sp.*

Procédure suivie

Dans un premier temps, la différenciation entre les larves *P. marinus* et celles *Lampetra sp* a été réalisée à l'aide d'un critère morphologique basé sur la pigmentation de la nageoire caudale d'après Potter et Osborne (1975). Toutes les larves ont ensuite fait l'objet d'un test de génotypage.

L'utilisation du critère morphologique a fourni une réponse en accord avec le test de génotypage dans 81 % des cas. Les erreurs ont été faites avec des larves de petite taille (≤ 60 mm). La majorité de ces erreurs (93%) allait dans le sens d'une affectation au genre *Lampetra* au lieu de *Petromyzon* (Figure 12).

Les lamproies *L. fluviatilis* et *L. planeri* en fin de métamorphose ont été différenciées en reprenant les critères morpho-anatomiques de Bird et Potter (1979) et Ducasse et Leprince (1980) (dentition, proportion entre le museau et la taille de l'oeil).

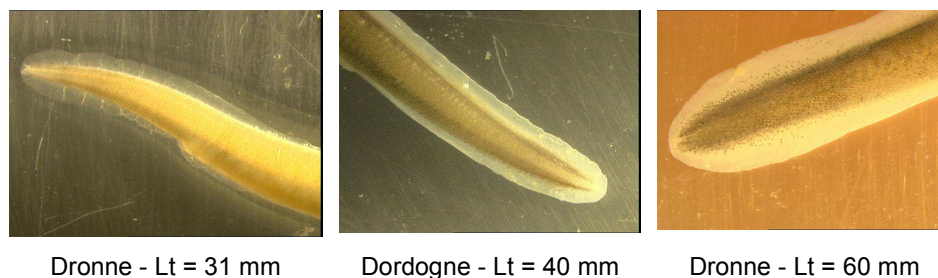


Figure 12 : Exemples de pigmentations au niveau de la nageoire caudale de larves de petites tailles identifiées comme étant des *P. marinus* grâce au test de génotypage.

¹³ Polymerase chain reaction – Amplification enzymatique de l'ADN

¹⁴ Restriction Fragment Long Polymorphism – Polymorphisme des longueurs par des enzymes de restriction

4.1.4. Analyses granulométriques

Les analyses granulométriques ont été réalisées selon le protocole de la norme NF P94-056 (mars 1996). Le principe est le suivant : les échantillons, passés dans une série de tamis à maille carrée, subissent un ensemble d'opérations aboutissant à la séparation des éléments selon leur grosseur. L'objectif est d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension. Les analyses granulométriques affichent les pourcentages en poids de passant selon des diamètres de grains d'une étendue allant de 0.079mm à plus de 100 mm. Le regroupement des diamètres de grains repose sur les classes de la norme NF P94-056 dans laquelle la classe dite des « sables moyens » a été rajoutée. Cette classification permet d'offrir une meilleure base de comparaison avec les résultats obtenus en Amérique du Nord. La déclinaison est donc la suivante : cailloux C (>20 000 µm) graviers G (>2 000 µm) sables grossiers SG (>200 µm) sables moyens SM (>100 µm) sables fins SF (>50 µm) et limons argiles L (<50 µm).

Classes granulométriques :							mm
limons argiles	sables fins	sables moyens	sables grossiers	graviers	cailloux	blocs	
	0,05	0,2	0,6	2	20	100	250

La teneur en matières organiques (MO) est estimée par la mesure de la perte au feu c'est à dire par un passage au four à 550°C pour brûler toute la matière organique (durée ≥2h) avec auparavant un séchage à l'étuve à 110°C (durée ≥48h).

La moyenne géométrique de la taille des grains D_g (mm) par macrohabitat de frai a été calculée selon la formule de Lotspeich et Everest (1981) *in* :

$$D_g = D_a^{P_a} * D_b^{P_b} * \dots * D_i^{P_i}$$

D_i = diamètre moyen des grains retenus dans le tamis de maille i (mm)

P_i = fraction décimale de l'échantillon de substrat retenu dans le tamis de maille i

Le diamètre moyen des grains retenus sur le tamis de maille i correspond à la moyenne entre la taille des mailles du tamis i et celui de maille supérieure.

4.1.5. Analyses de données

Les courbes de préférence pour la profondeur, la vitesse du courant et le substrat dominant sont calculées à l'aide de l'indice de préférence IP calculé de la manière suivante :

$$IP = P_i / P_i \text{ maxi}$$

P_i étant la valeur d'utilisation proportionnelle :

$$P_i = (n_i / N) / (V_i / V_t) \text{ avec}$$

n_i nombre de larves observées dans la catégorie i ème de la variable d'habitat V

V_i fréquence d'occurrence de la i ème valeur de la variable V

N nombre total de larves observées

V_t nombre total de toutes les mesures faites pour la variable V

L'indice se situe entre 0 et 1, avec une condition d'habitat d'après Bovee (1986) représentée comme non optimale à 0 et optimale à 1. L'intervalle où les valeurs de IP sont comprises

entre 0.5 et 1 est jugé optimal. Entre 0.2 et 0.5 il est jugé sub-optimal et en dessous de 0.2 il est qualifié comme étant non optimal.

Le test de Wilcoxon est utilisé pour tester les différences dans les distributions de fréquence des classes de taille des larves parmi les grains des particules. Le test de White est appliqué pour comparer les diamètres moyens des particules de sédiments dans lesquels les deux genres *Petromyzon* et *Lampetra* se situent.

Une analyse canonique des correspondances (ACC) est faite afin de mettre en relation le tableau de relevés des densités (ind. m⁻²) des deux genres par groupe de taille (variables à expliquer) et le tableau de relevés des variables du milieu, variables explicatives (pourcentages des différentes classes granulométriques et de la matière organique, valeurs de profondeur et de vitesse du courant). L'ACC correspond à deux analyses soit une AFC (analyse factorielle des correspondances) et une ACP (analyse en composantes principales) classiques réalisées respectivement sous les logiciels ADE4 et Systat 10. La combinaison linéaire des densités des lamproies qui réalise la meilleure régression multiple sur les variables du milieu permet d'expliquer les différentes abondances spécifiques par les variables du milieu.

4.2. L'échantillonnage du genre *Lampetra* en vue des analyses génétiques

Un total de 56 *L. planeri*, 33 *L. fluviatilis* ont été collectées (Tableau 4). Les *L. fluviatilis* correspondent à des adultes provenant de pêcheries professionnelles. Ces lamproies qui devaient rester vivantes ont subi une ablation d'un bout de leurs nageoires dorsale ou caudale après une anesthésie à l'Eugénol. Les *L. planeri* sont représentées par des individus de stades larvaire, macrophthalmia¹⁵ et adulte capturés en pêche électrique ou à l'épuisette sur différents cours d'eau du département de la Gironde. Les larves proviennent de la rivière Ciron. Leur lieu de pêche se situe très en amont d'une série d'ouvrages anciens (le plus vieux construit en 1924) et très difficilement franchissables (hauteur de chute la plus élevée 6m - barrage de la Trave). L'ensemble de ces ouvrages est considéré comme une garantie d'absence de migration possible pour *L. fluviatilis*. Les larves sont donc assimilés à des *L. planeri*. Ces lamproies ont été sacrifiées par congélation et un bout de myomère a été prélevé au niveau de l'abdomen. Les morceaux de tissu à analyser ont été conservés dans de l'alcool (éthanol 95°).

Tableau 4 : Situation géographique des échantillons de lamproies et caractéristique des habitats correspondant (codes : cf. fig.7 - isolation partielle i.p. et isolation totale i.t. par des seuils et des barrages – a.l., accès libre ; N taille de l'échantillon)

Taxon	Cours d'eau et code	Abbréviation	Bassin versant	Isolation	N
<i>L. planeri</i> n = 24	Cap d'Avias 1	LpCda	Gironde	i.p.	3
	J. Blanquefort 2	LpJb	Garonne	i.p.	3
	Eau Bourde 3	LpEau	Garonne	i.p.	3
	Saucats 4	LpSau	Garonne	i.p.	4
	Ciron 5	LpCir	Garonne	i.t.	11
<i>L. fluviatilis</i>	Dordogne 6	LfDor	Dordogne	a.l.	12

¹⁵ Dernier stade de la métamorphose

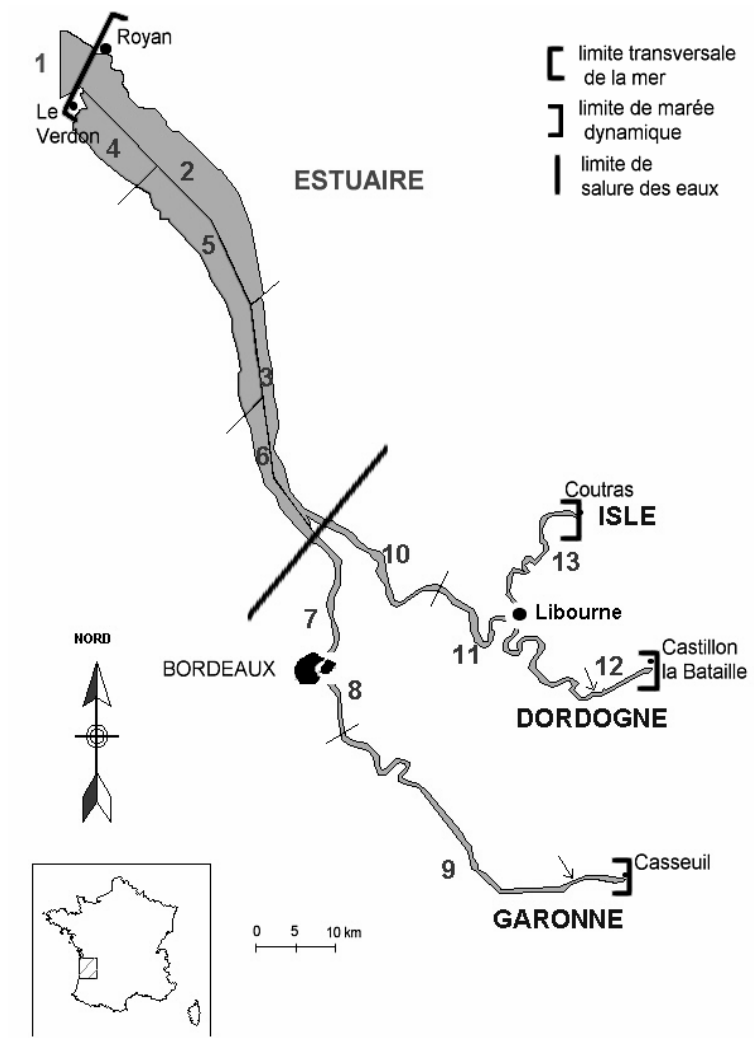


Figure 13 : Sites des pêcheries échantillonnées dans la partie basse du bassin de la Gironde et (flèches) (2 à 13 zones de pêche; 1 Océan Atlantique)

4.3. La caractérisation démographique des adultes migrants

La détermination de la structure du stock (compositions en taille, sexuelle et en âge) des populations de lamproies adultes migrantes a été étudiée en échantillonnant parmi les captures de pêche professionnelle. Les sites d'échantillonnage ont été choisis sur la Garonne et la Dordogne à égale distance de la limite transversale de la mer (140 km), légèrement en aval de la limite de la marée dynamique (Figure 13). Chaque site d'échantillonnages comprenait un groupe de 3 à 4 pêcheurs échantillonneurs pratiquant chacun à la fois la pêche aux bourgnes en début de saison puis celle au filet dérivant. Les bourgnes et les filets utilisés dans ces deux pêcheries présentaient les mêmes caractéristiques physiques (ouverture d'entonnoirs, taille de maille).

En 2003, le suivi de la saison de pêche a pu débuter vers la fin du mois de janvier sur les deux fleuves. Les pêcheurs échantillonneurs du compartiment Dordogne sont passés de l'engin bourgne à l'engin filet entre la fin du mois de février et le début du mois de mars alors que ceux du compartiment Garonne ont changé d'engin un mois plus tard en raison de débits encore trop élevés sur ce fleuve (Annexe 3). Les pêcheurs des deux compartiments de suivi ont terminé leur saison à la fin du mois d'avril avant la fermeture officielle de la pêche à la lamproie (15 mai) en raison de la chute du prix de vente.

En 2004, le suivi sur la Garonne a débuté durant le deuxième tiers de février soit une quinzaine de jours plus tard que sur la Dordogne. La fin du suivi a coïncidé avec la fin de l'ouverture légale de la pêche à la lamproie. En milieu et fin de saison 2004, les lamproies prélevées résultaient d'un mélange de lamproies pêchées aux bourgnes et au filet. Compte-tenu qu'à cette période la majorité des lamproies sont prises avec le métier filet et que les tests réalisés sur ces lamproies montrent qu'elles ont des caractéristiques proche de celles pêchées dans les mêmes conditions uniquement au filet, il a donc été considéré qu'il s'agissait de lamproies pêchées au filet.

Les pêcheurs échantillonneurs conservaient les lamproies par type de pêche à l'intérieur de leur vivier. En raison de la haute valeur commerciale de cette espèce, des échantillons de vingt à trente lamproies ont été sacrifiées toutes les trois semaines sur chacun des axes. Un prélèvement au hasard parmi les individus a été pratiqué au sein du lot de lamproies. Ce lot représentait au maximum le résultat de 15 jours de pêche. La longueur totale (Lt) la longueur de la partie caudale en arrière de la papille uro-génitale (Lq) étaient mesurés respectivement en millimètres (± 1 mm) et le poids total (Wt) en grammes (± 5 gr). La détermination du sexe était faite après dissection en observant les gonades.

L'état physiologique des lamproies migrantes femelles a été recherché à l'aide d'un indice physiologique, le rapport gonadosomatique ou RGS. Ce dernier est calculé suivant la formule classique $RGS = (W_G/Wt) \times 100$ dans laquelle W_G représente le poids des gonades (g).

Afin de vérifier si une sélectivité s'opérait dans les modes de capture et de discerner l'influence des variables (environnement : fleuve, mois, année, métier – biologie : sexe, taille) la procédure "genmod" de SAS a été utilisée pour l'ensemble des traitements statistiques réalisés avec un modèle linéaire général (GLM).

Un effet de variable trouvé comme non significatif n'est pas inclus dans le modèle. L'ordre de grandeur de la valeur de chaque effet renseigne sur l'importance relative de chaque variable.

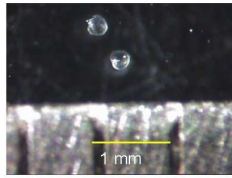


Figure 15 : Paire de statolithes (taille : 265 μm – trait jaune : 1mm)

Vue de dessus	Vue de profil
<p>Statolithe d'une larve <i>Lampetra sp.</i> de 21 mm (170 μm) – cohorte 0+</p>	<p>Statolithe d'une larve <i>P. marinus</i> de 29 mm (200 μm) – cohorte 0+</p>
<p>Statolithe d'une larve <i>Lampetra sp.</i> de 74mm (270 μm) – cohorte 1+</p>	<p>Statolithe d'une larve <i>P. marinus</i> de 67 mm (250 μm) – cohorte 1+</p>
<p>Statolithe d'une larve <i>P. marinus</i> de 110 mm (280 μm) – cohorte 3+</p>	

Figure 16 : Exemples de statolithes de larves en vue de dessus et de profil (* après inclusion et ponçage ou ** selon méthode Volk (1986) [marque de naissance - - - - -> ; marque de rupture de pente ----->]

4.4. Les tentatives de détermination d'un âge individuel à l'aide des statolithes

4.4.1. Au stade larvaire

Croissance des statolithes

Les statolithes, constitués essentiellement de phosphate de calcium et d'un peu de carbonate, ont une forme plano-convexe, avec une structure en couches régulières. Dans le cas d'une croissance saisonnière marquée, une série de bandes alternativement translucides et opaques se met en place. Une bande opaque plus une bande translucide correspondent à un annulus (Figure 14).

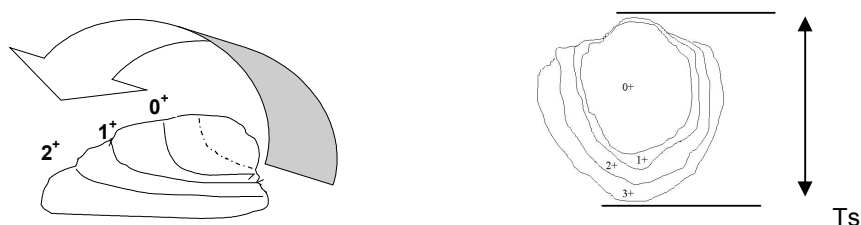


Figure 14 : Principe de croissance d'un statolithe, vue de profil (ligne pointillée marque dite de naissance, ligne pleine marque hivernale) et vue de dessus (Ts : mesure du grand axe)

Dans les eaux du bassin de la Dordogne, une croissance saisonnière durant la phase larvaire a été constatée sur la base de quelques individus du genre *Lampetra* (Taverny et Urdaci, 2003).

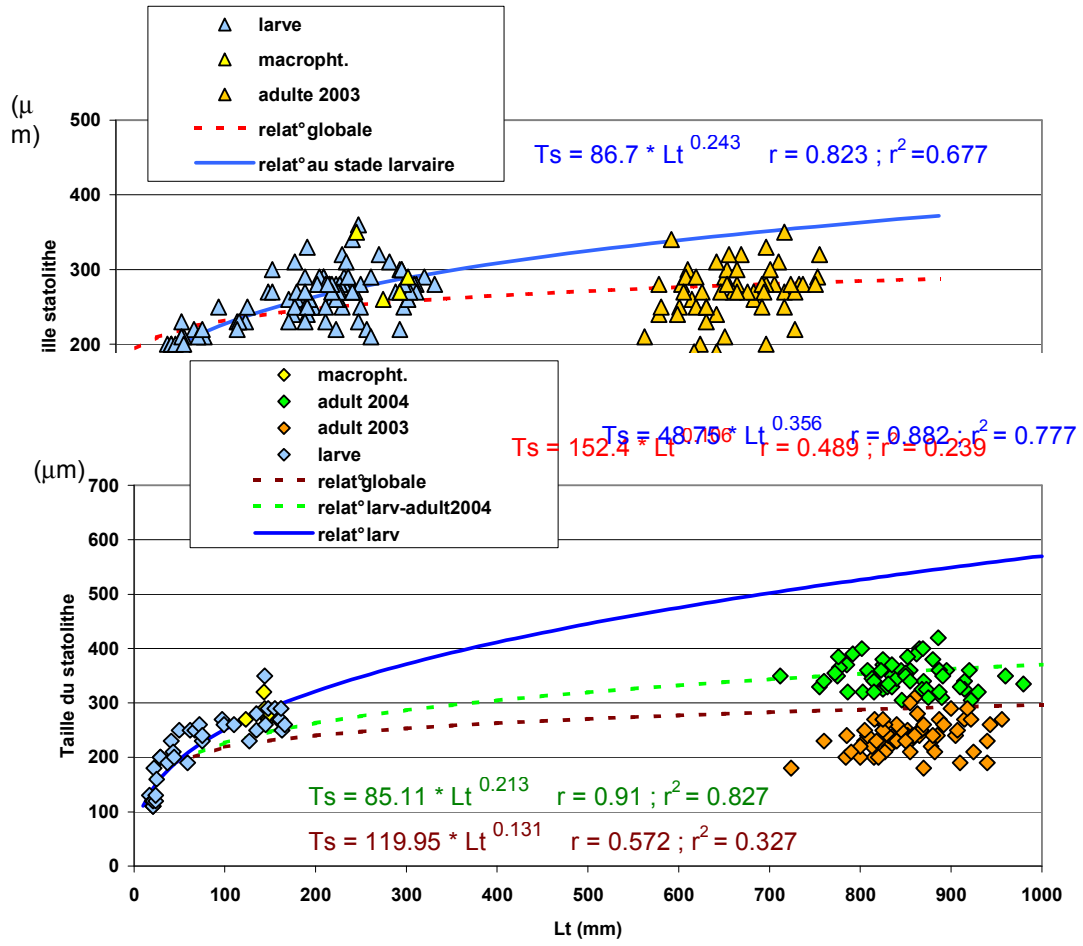
Méthodes de lecture

En général, la lecture des statolithes est faite selon la méthode Volk (1986). Il s'agit d'observer le profil du statolithe en lumière réfléchi à un grossissement de 150 ou 200. La pièce calcifiée doit être préalablement éclaircie dans de la glycérine et peut être brièvement passée sur la flamme pour faire ressortir les bandes¹⁶ plus riches en matière organique. La méthode est présentée comme rapide et le statolithe relativement facile à lire pour des larves très jeunes.

La fragilité des statolithes, la difficulté à les manipuler (pièce inférieure à un tiers de mm – Figure 15), et de parvenir à les lire selon la méthode décrite ci-dessus nous ont amené à utiliser deux autres techniques de lecture :

- la lecture vue de dessus : elle aide à situer la marque correspondant à la naissance et les ruptures de pente du statolithe

¹⁶ La technique d'éclaircissement par brulage rapide n'a pas été retenue car les essais ne se sont pas avérés probants



- la lecture du profil en coupe : le statolithe est inclus dans de la résine (avantages : conservation illimitée du statolithe, manipulation aisée sans crainte de le perdre, positionnement de profil acquis). Un ponçage progressif est mené à l'aide de papier Struers (waterproof, Silicon Carbide) de grains successivement différents (500, 1200 et 2500 μm) jusqu'à un ponçage jugé suffisant.

Une acquisition d'image est réalisée sous stéréomicroscope ($\times 90$) pour les trois types de lecture. Il ressort que plusieurs annuli forment une succession de couches empilées et décalées, souvent plus facilement décelables que les bandes elles-mêmes. A un annulus correspond une rupture convexe de pente. Ces ruptures sont le plus souvent observables à la fois dans le champ antérieur et postérieur du statolithe. Notre premier principe de lecture est d'attribuer :

- la 1^{ère} encoche ou rupture de pente à la marque de naissance
- le 1^{er} annulus à la 2^{ème} rupture de pente.

Ce principe s'appuie sur les observations des statolithes de larves pêchées aux mois de septembre et octobre (3 à 4 mois après les éclosions) dont les longueurs totales s'étendent de moins 30 mm (considérées comme des larves de l'année) jusqu'à plus de 150 mm (Figure 16).

Estimation d'un âge

Dans nos cas de captures effectuées aux mois de septembre octobre, les statolithes ne possédant pas d'annuli sont affectés à des larves de la cohorte 0⁺ c'est à dire des individus entre 3 et 4 mois pour *P. marinus* et entre 5 et 6 mois pour *Lampetra sp.*. Celles ayant 1 annulus correspondent à des larves de la cohorte 1⁺ soient des individus entre 15 et 16 mois pour *P. marinus* et 17 et 18 mois pour *Lampetra sp.*, etc.

4.4.2. Au stade adulte

Croissance des statolithes

Les statolithes des larves et macrophthalmia disponibles suite aux opérations de la tranche 1 (individus *Lampetra* : larves & macrophthalmia $n = 82$ – *P. marinus* : larves $n = 14$)¹⁷ et ceux capturés pour la caractérisation des zones de grossissement (individus *Lampetra* : larves $n = 35$ – *P. marinus* : larves $n = 23$) issus de l'axe Gironde-Dordogne ont été comparés aux statolithes des adultes migrants échantillonnés dans la Dordogne (individus adultes *L. fluviatilis* : $n = 60$ – *P. marinus* : $n = 123$).

Les tailles des statolithes T_s au sein des migrants sont très variables et nettement plus faibles que celles prédites par le modèle de croissance calculé avec l'écophase larvaire (Figure 17 ; Annexe 4). En intégrant les deux écophases (larvaire et adulte) les nouveaux modèles de croissance obtenus, montrent, selon les cas, une relation faible à bonne entre les deux variables T_s et L_t avec une prévision qui pourrait être faite pour l'une en fonction de l'autre allant de très peu précise (a, b) à précise (c).

L. fluviatilis :

$$a : T_s = 152.4 * L_t^{0.106} \quad r = 0.489 ; r^2 = 0.239$$

¹⁷ opération de validation de la croissance saisonnière - Taverny & Urdaci, 2003

P. marinus :

$$b : Ts = 119.95 * Lt^{0.131} \quad r = 0.572 ; r^2 = 0.327$$

$$c : Ts = 85.11 * Lt^{0.213} \quad \underline{r = 0.91 ; r^2 = 0.827}$$

Parmi les statolithes d'un certain nombre de migrants adultes de *P. marinus* et *L. fluviatilis* une marque plus opaque et plus épaisse que les marques saisonnières classiques peut parfois s'observer vers la base du statolithe. Une brusque modification de la forme de la pièce peut aussi être notée, allant de pair ou non avec cette marque plus prononcée (Figure 18).

L'hypothèse suivante est posée : il s'agit d'une marque en relation avec le profond changement métabolique survenu durant la métamorphose. Chez certains poissons comme la sole *Solea solea* ou bien encore l'anguille *Anguilla japonica* l'otolithe inscrit le moment de la métamorphose par une modification dans sa composition chimique et spécialement par une chute du rapport strontium/calcium (Sr/Ca). La microchimie est un moyen indirect qui permet d'évaluer ce rapport Sr/Ca. Aussi, des essais d'analyses ont été menés.



Figure 18 : Exemples de statolithes de lamproies adultes présentant une bande très opaque (flèche bleue) ou une forte rupture de pente (flèche verte)

Analyses du rapport Strontium/Calcium

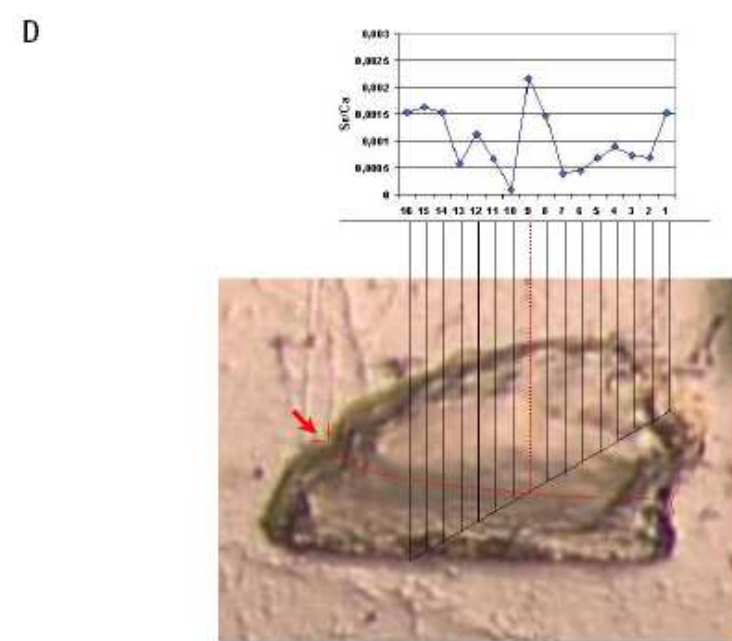
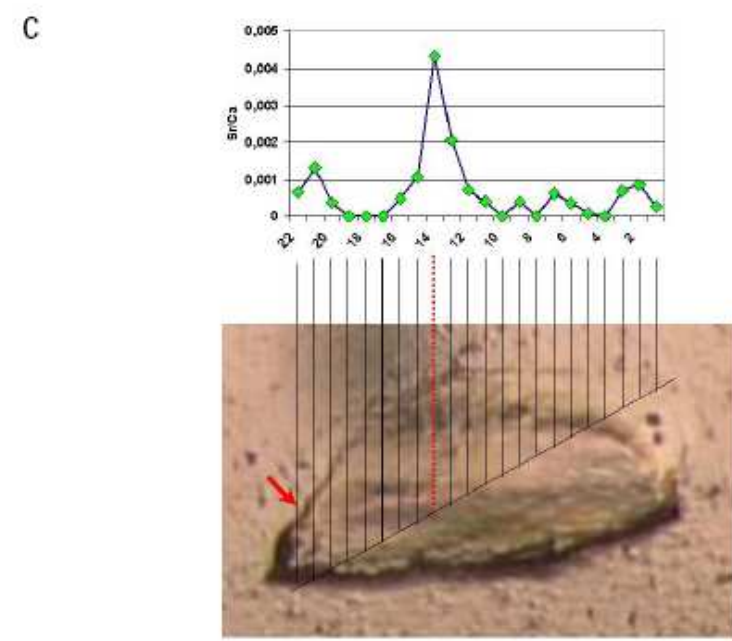
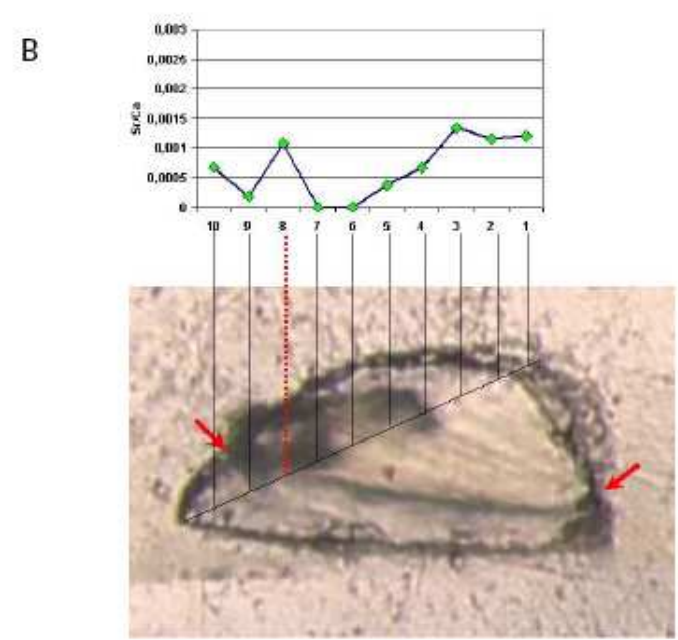
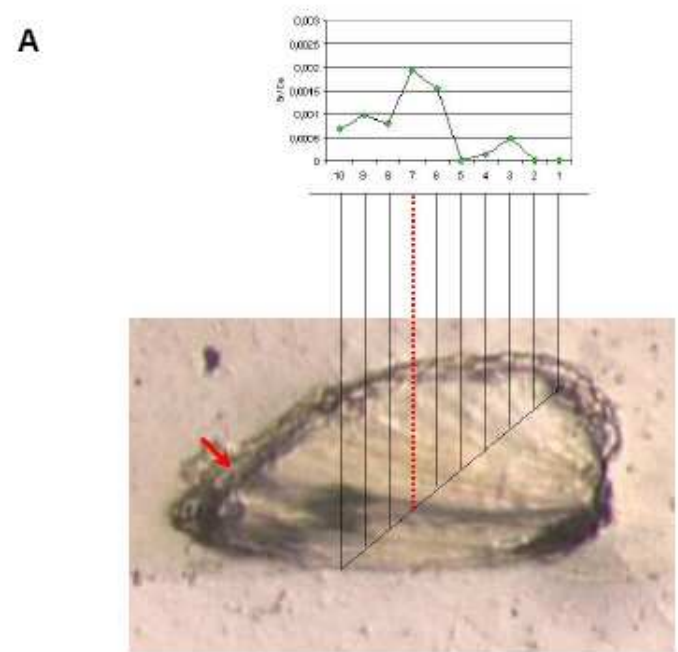
Matériel et méthode

Les statolithes de quatre adultes *P. marinus* et *L. fluviatilis* présentant la marque dite de métamorphose, que nous appellerons marque *m*, et, trois statolithes appartenant à des écophases différentes (larve, juvénile) ont fait l'objet des analyses. Seul un essai par individu a été réalisé, soit 7 essais au total, en raison du coût financier élevé de ce type d'approche.

Un spectromètre à rayon X Cameca SX 100 à longueurs d'ondes dispersives (WDS) basé au CeCaMA (Université de Bordeaux I) a été employé pour analyser le Sr et le Ca dans les statolithes.

Les standards utilisés sont l'andradite et le SrFCl. Un faisceau nominal de diamètre 8µm ou 3µm est utilisé en mode balayage avec un voltage d'accélération de 15kV et un courant de 10nA. Le temps de comptage au pic est de 100 sec pour le Sr et de 30 sec pour le Ca.

Le statolithe est inclus dans un bloc de résine. Il est ensuite poncé de manière à disposer d'une coupe en travers passant par son centre. Une série de points de mesures est réalisée le long d'un axe allant de l'apex à la base du statolithe. Sur ce transect de mesures, les points sont espacés de 12µm. Le graphe de l'évolution des valeurs du rapport Sr/Ca le long du transect est ensuite reporté sur la photographie de la pièce calcifiée et superposé avec la position des différentes marques observées.



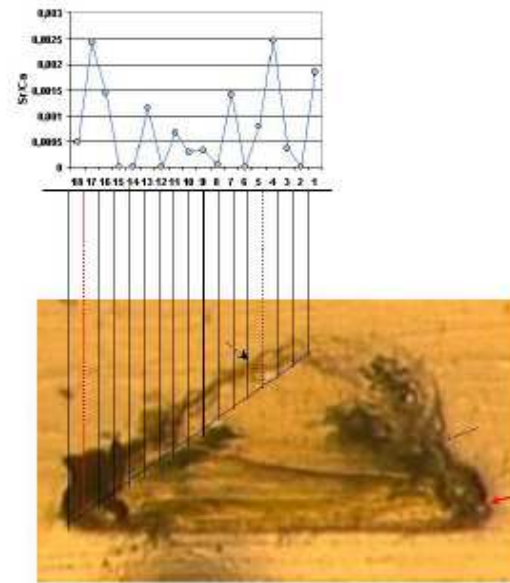
Ecophase	Espèce	Lieu d'origine	Longueur total (mm)	Taille du statolihte (µm)	
A	Adulte	L. fluviatilis	Dordogne	275	300
B			Garonne	311	300

Figure 19 : Evolution des valeurs du rapport Sr/Ca le long du transect en fonction des localisations des points de mesure WDS ; Correspondance avec la marque M (flèche rouge)

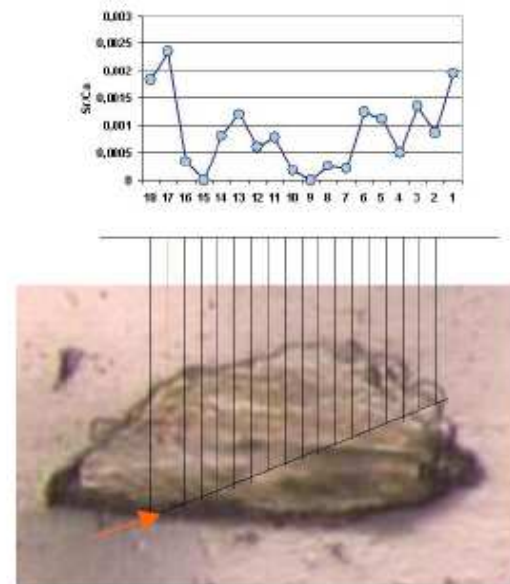
Ecophase	Espèce	Lieu d'origine	Longueur total (mm)	Taille du statolihte (µm)	
C	Adulte	L. fluviatilis	Garonne	320	245
D		P. marinus	Dordogne	842	260

Correspondance avec la marque M (flèche rouge)

E



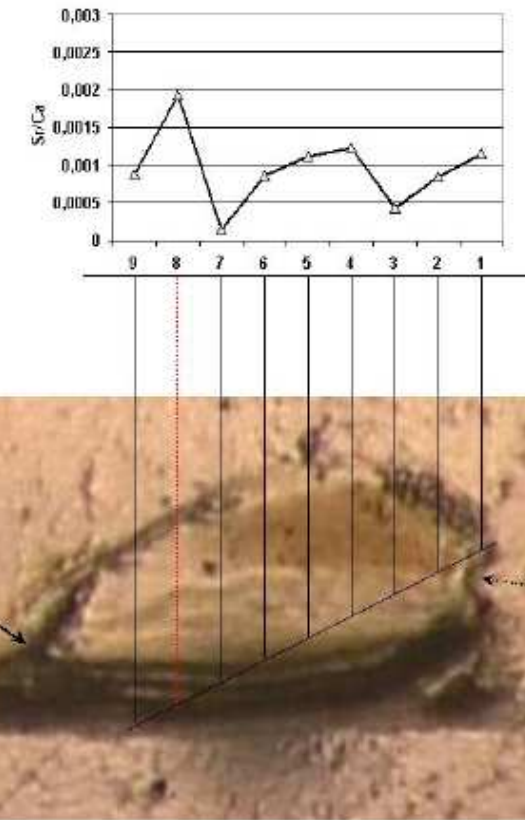
F



Ecophase	Espèce	Lieu d'origine	Longueur total (mm)	Taille du statolithe (µm)	
E	Juvenile	<i>P. marinus</i>	Dordogne	143	320
F			123	260	

Figure 19 (suite) : Evolution des valeurs du rapport Sr/Ca le long du transect en fonction des localisations des points de mesure WDS ; Marque M non encore discernable (flèche rouge, trait orange) et marque dite de naissance (trait et flèche noirs en pointillés)

G



Ecophase	Espèce	Lieu d'origine	Longueur total (mm)	Taille du statolithe (µm)	
G	Larve	<i>Lampetra sp.</i>	riv. Chalaure	155	280

marque M (trait rouge) non discernable

Résultats et discussion

Au sein des statolithes d'adultes, au niveau de chacune des marques dites *m* repérées correspond un pic du rapport Sr/Ca. Il se retrouve également près de la base du statolithe, chez les juvéniles dévalants (individus post métamorphosés) et chez les larves âgées prêtes à se transformer, pour lesquels la marque *m* n'est pas encore visible. Cependant, le pic en question s'inscrit dans une gamme de valeurs qui restent faibles allant de $4 \cdot 10^{-3}$ à $1 \cdot 10^{-3}$ (Figure 18 A,C,D,E,F / B, G). Parfois, un pic peut aussi être observé au niveau de la marque dite de naissance (Figure 18 E).

Chez les poissons, le rapport strontium/calcium dépend de facteurs environnementaux mais aussi ontogéniques ou physiologiques (Arai et al., 1997; de Pontual et al., 2003). Comme pour les otolithes, les essais obtenus ici suggèrent que des changements ontogéniques comme la métamorphose peuvent induire une incorporation plus élevée de strontium dans le statolithe.

Pour valider la marque *m*, un nombre plus significatif d'analyses devra être fait à partir de statolithes provenant de lamproies maintenues en bassins expérimentaux depuis le stade larvaire jusqu'au stade juvénile. Des sacrifices d'individus devront être faits à différents moments de l'ontogénèse (naissance, croissance saisonnière, métamorphose) afin de vérifier l'apparition des marques sur leurs statolithes.

Important

La tentative d'estimation d'un âge chez les lamproies adultes migratrices suppose reconnue la marque dite *m* comme marque de métamorphose. Seule la présence de cette marque peut permettre de séparer un âge d'eau douce d'un âge de mer. La tentative d'une estimation de l'âge avec leurs statolithes est donc menée uniquement à titre exploratoire et sous réserve d'une validation restant à réaliser pour cette marque.

Chronologie des événements retenus en vue de l'estimation d'un âge

En fonction des données bibliographiques et de notre travail, il est admis dans le cas du bassin Gironde-Garonne-Dordogne que :

- ◆ La période de reproduction se situant entre les mois d'avril et juin pour *L. fluviatilis*, de mai et juillet pour *P. marinus* (Ducasse et Leprince 1980 ; Sabatié 1998) ; obs. personnelles) avec une incubation d'environ 10 jours à 15°C (Genina et Eric 1958; Piavis 1971) la naissance des larves survient respectivement en moyenne au début des mois de juin et juillet.
- ◆ La marque saisonnière hivernale se forme durant les mois de janvier février (Quintella et al., 2003) – elle ne s'inscrit pas dans le statolithe durant l'hiver qui suit la métamorphose (Medland et Beamish, 1991).
- ◆ La métamorphose des espèces européennes survenant généralement entre juillet et novembre (*in* Holcik 1986) le mois théorique moyen de l'anniversaire de ce phénomène est septembre.
- ◆ La migration de dévalaison des lamproies migratrices s'étendant de la fin de l'automne jusqu'au printemps suivant (Applegate 1950 ; Davis 1967 ; Potter et Beamish

1977) les juvéniles sont susceptibles de débiter leur phase parasite 3,5 mois (Bird et Potter 1979) à 10 mois après la métamorphose. Une durée moyenne de dévalaison de 7 mois est donc retenue.

◆ L'alimentation parasite débutant en moyenne 7 mois après la métamorphose (soit courant du printemps suivant) la marque dite « m » est donc comptée comme une marque hivernale.

◆ La durée moyenne de la phase parasite chez *P. marinus* peut s'étendre de 1,5 ans (Beamish 1980; Halliday 1991; Swink 1993) à 2,5 (Bergstedt et Swink 1995) et chez *L. fluviatilis* elle est estimée à hauteur de 1,5 ans (in (Hardisty 1971).

(Illustration en Annexe 5)

Estimation d'un âge

L'âge total réunit d'une part une lecture d'âge d'eau douce AED (marques saisonnières incluant la marque de métamorphose) et d'autre part un âge de mer AEM.

L'âge de mer est affecté de deux manières différentes : théorique et estimée

- l'âge de mer théorique ou AEMt, correspond à 2 à 3 hivers pour *P. marinus* (1,5 à 2,5 ans) et 2 hivers pour *L. fluviatilis* (1,5 ans).

- l'âge de mer estimé ou AEMe repose sur l'hypothèse suivante : « si le statolithe lors de la vie parasite de la lamproie a le même taux de croissance dans le temps que lors de l'alimentation en eau douce alors cette croissance peut être considérée comme proportionnelle au temps passé en mer »

Dans un premier temps, la lecture de l'âge d'eau douce est faite et transformée en nombre de mois (Figure 20). Dans un deuxième temps, la distance entre les marques dites de naissance et de métamorphose (davm) ainsi que la distance entre la marque de métamorphose et le bord du statolithe (dapm) sont mesurées. En fonction de AED et de davm, dapm est ensuite transformée en un nombre de mois. Le temps moyen lié à la métamorphose-dévalaison de 7 mois est rajouté.



Figure 20 : Statolithe de *Petromyzon marinus* adulte migrant : marque de naissance (flèche blanche en pointillés) âge d'eau douce 4 hivers (flèches vertes), marque de métamorphose m (en rouge) croissance en eau de mer (crochet en bleu) base 1 hiver (flèche noire) - taille du statolithe Ts 265 μ m (longueur totale de la lamproie 816mm).

Ces deux approches d'affectation d'un âge de mer aboutissent à deux versions d'un âge total que nous nommerons :

âge total théorique ATt, donné en nombre d'hivers

$$ATt = \text{nombre d'hivers AED} + \text{nombre d'hivers AEMt}$$

âge total estimé ATe, donné en nombre de mois

$$ATE = \text{nombre de mois AED} + 7 \text{ mois} + \text{nombre de mois AEMe}$$

4.4.3. Accord de lectures

Chaque statolithe a été lu 3 fois (grossissement x90) de manière indépendante et codé numériquement de manière à ce que l'âge estimé ne soit pas biaisé par la connaissance de la taille de l'individu au stade larvaire. Un âge a été affecté à un statolithe si au moins deux lectures sur trois étaient identiques.

Afin de déterminer le niveau d'accord entre les lectures des statolithes, l'estimation du coefficient de variation (CV) (Chang, 1982) est utilisée :

$$CV = 100\% \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{R-1}}}{\bar{X}_j}$$

avec : R le nombre de fois où la lamproie a été âgée

X_{ij} âge déterminé à la ième fois de la lamproie donnée j

\bar{X}_j est l'âge moyen de la ième lamproie

5

Résultats

5.1. La caractérisation des habitats zones de grossissement des larves

Un total de 72 individus (48 *P. marinus* et 24 *Lampetra sp.*) a été capturé, sur les 4 cours d'eau considérés.

La densité des larves obtenue, espèces confondues, a été la plus élevée dans la Livenne (>5 ind/m²). Dans les trois autres cours d'eau, malgré un effort d'échantillonnage entre 5 à 10 fois plus conséquent, la densité des larves ne s'étendait que de 0.32 à 1.21 ind/m² (Tableau 5 – Annexe 6).

Tableau 5 : Résumé de l'échantillonnage réalisé et moyennes des densités de larves obtenues (\pm intervalle de confiance à 95%, étendue)

Cours d'eau (catégorie d'ordre selon Horton)	Livenne (4)	Dronne (4)	Cère (4)	Dordogne (6)
Débit annuel moyen (étendue) en m ³ /s	2.5	20	(5-45)	279
Largeur du lit dans les secteurs étudiés (m)	3-6	30-40	20-45	100-140
Linéaire du cours d'eau accessible aux migrateurs (kml)	16	15 *	12	185 ** ≈ 350 ***
Nombre de secteurs	2	8	4	7
Types de macrohabitats différents échantillonnés	5	6	5	5
Nombre de stations inventoriées	21	61	17	37
Hauteur en eau (m)	0.1 - 0.7	0.2 - 4	0.2 - 2	0.1 - 6
Effort de pêche consenti (m ²)	3.5	37	19	41
Densité des larves espèces confondues (ind./ m ²)	4.65 \pm 2.63 (0 – 19.05)	0.53 \pm 0.45 (0 – 12.23)	1.35 \pm 1.49 (0 – 12)	0.54 \pm 0.51 (0 – 9)
Densité des larves <i>P. marinus</i> (ind./ m ²)	0.45 \pm 0.61 (0 – 4.76)	0.35 \pm 0.32 (0 – 8.15)	1.12 \pm 1.11 (0 – 8)	0.51 \pm 0.51 (0 – 9)
Densité des larves <i>Lampetra sp.</i> (ind./ m ²)	4.20 \pm 2.53 (0 – 19.05)	0.18 \pm 0.19 (0 – 4.08)	0.24 \pm 0.46 (0 – 4)	0.03 \pm 0.05 (0 – 1)

* en période de crue, barrage de Monfourat peut être effacé : 18 kml

** barrage de Bergerac infranchissable pour *L. fluviatilis*

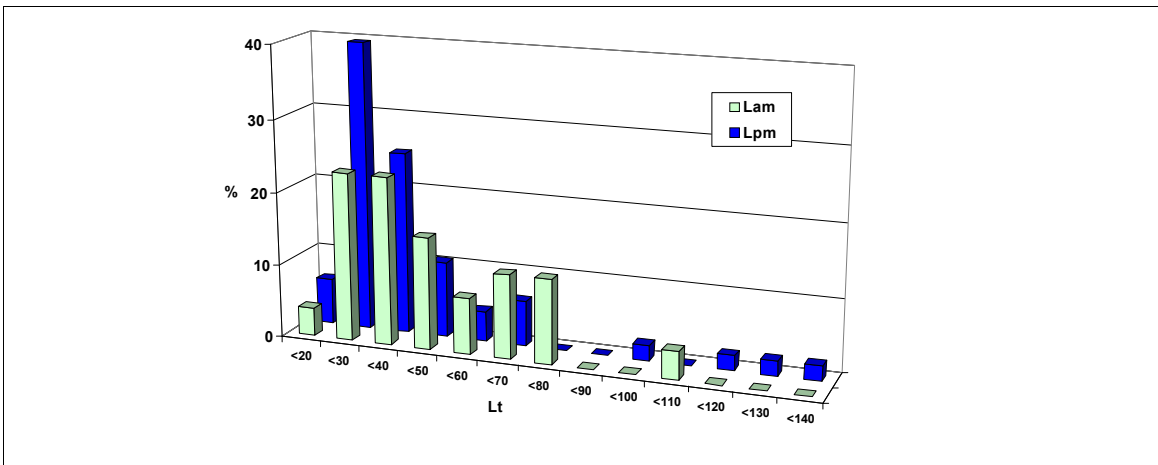


Figure 21 : Distributions de fréquence de taille des larves *P. marinus* et *Lampetra sp.* pêchées

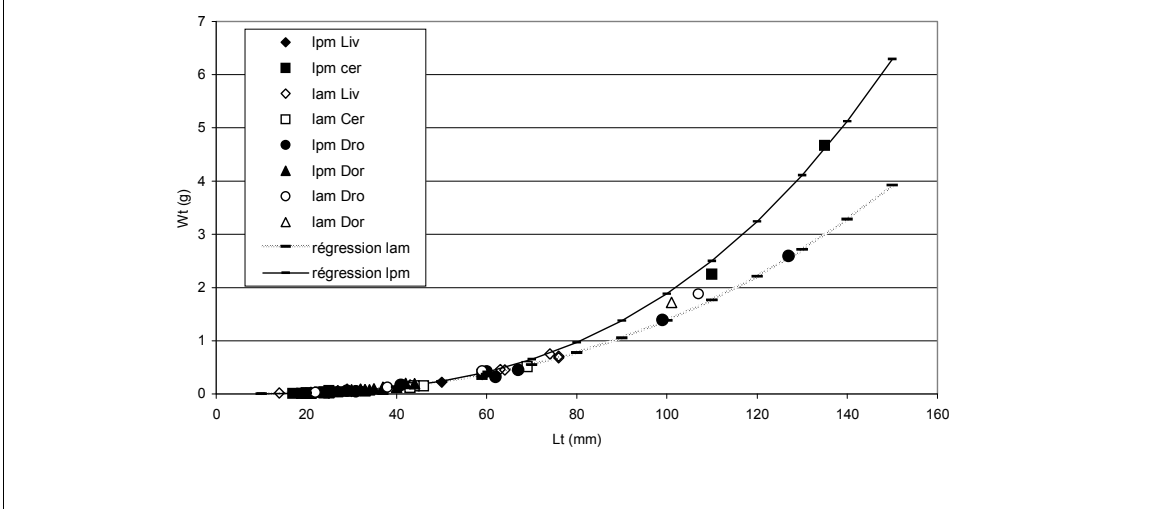


Figure 22 : Relation taille poids des larves *P. marinus* et *Lampetra sp.*

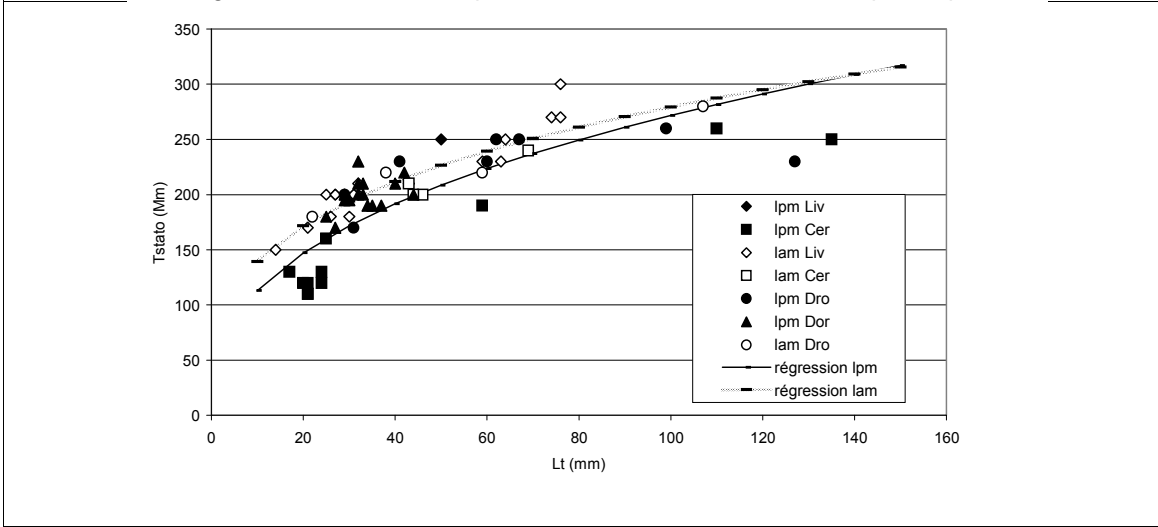


Figure 23 : Relation entre la longueur totale des larves *P. marinus* et *Lampetra sp.* et leur statolithe

5.1.1. Distribution en taille, poids et âge des fractions de population larvaire des lamproies

La majorité des larves de lamproies des deux genres (80%) ont une longueur totale inférieure à 60 mm. Les plus petites larves *P. marinus* et *Lampetra sp* capturées ont respectivement une longueur totale de 17 et 14 mm et les plus grands spécimens de 101 et 135 mm. Les échantillons des deux genres ne présentent pas des distributions de fréquence de taille significativement différentes ($u_{obs} = 37$, $p > 0.05$). Il faut noter la relation inverse entre la fréquence et la longueur des larves (Figure 21).

Les larves *Lampetra sp* et *P. marinus* pêchées ont respectivement une taille moyenne comprise entre 48 mm et 40 mm (étendues 14-107, 17-135 mm), 0.35 g et 0.32 g (0.02-1.88, 0.01-4.67).

Pour chacun des deux genres, les relations taille-poids ont été calculées. Les relations trouvées pour *Lampetra sp.* et *P. marinus* sont respectivement les suivantes ($P < 0.0001$) (Figure 22) :

$$\log Wt = -5.012 + (2.576 * \log Lt) \quad r = 0.981 \quad (ds_b = 0.104 ; ds_a = 0.170 ; n = 26)$$

$$\log Wt = -5.675 + (2.975 * \log Lt) \quad r = 0.978 \quad (ds_b = 0.093 ; ds_a = 0.144 ; n = 48)^1$$

Sur les 72 lamproies capturées, tous genres confondus, les statolithes de 63 individus ont pu être extraits ; environ 10% des lectures de ces statolithes se sont avérées ambiguës ou non lisibles et ont été écartés. Sur la base des 57 statolithes retenus et lus, l'estimation du coefficient de variation moyen de lecture a atteint la valeur de 24.2%, ce qui dénote une fiabilité faible. Cette méthode indique cependant la présence potentielle d'au moins 5 cohortes de larves pour chacun des deux genres. Les larves les plus âgées correspondent donc ici à des 4⁺ (Tableau 6 ; Annexe 7).

Tableau 6 : Longueur totale moyenne (en mm - ± ds, n) des larves des deux genres, origines confondues, aux différents âges estimés à partir du nombre d'annuli.

	0 ⁺	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺
<i>Lampetra</i>	21.6 ± 4.7 5	47.8 ± 18.6 12	48 ± 19.4 5	69 1	107 1
<i>Petromyzon</i>	25.4 ± 7.6 10	40.3 ± 13.3 15	51.6 ± 29.5 5	127 1	122.5 ± 17.7 2

Pour les larves dont les statolithes ont été récupérés, la longueur totale du corps et la taille de la pièce calcifiée présentent les relations suivantes :

$$\text{Lampetra sp. : } \log Ts = 1.842 + (0.302 * \log Lt) \quad r = 0.929 \quad (ds_b = 0.026 ; ds_a = 0.041 ; n = 24)$$

$$\text{P. marinus : } \log Ts = 1.672 + (0.381 * \log Lt) \quad r = 0.777 \quad (ds_b = 0.055 ; ds_a = 0.089 ; n = 33).$$

Dans les échantillons obtenus, la plus petite taille de statolithe débutait chez *P. marinus* à 110 µm pour une longueur totale de 21 mm soit une valeur nettement plus faible que celle observée chez *Lampetra sp.* qui affichait 150 µm dès 14 mm (Figure 23).

¹ ds déviation standard

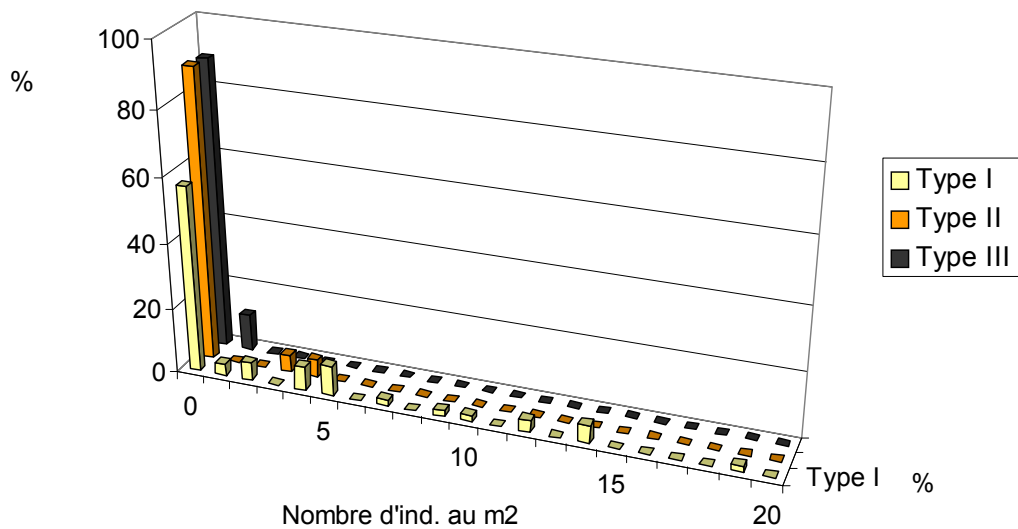


Figure 25 : Distributions de fréquence des larves de lamproies à différentes densités dans les habitats de types I, II et III

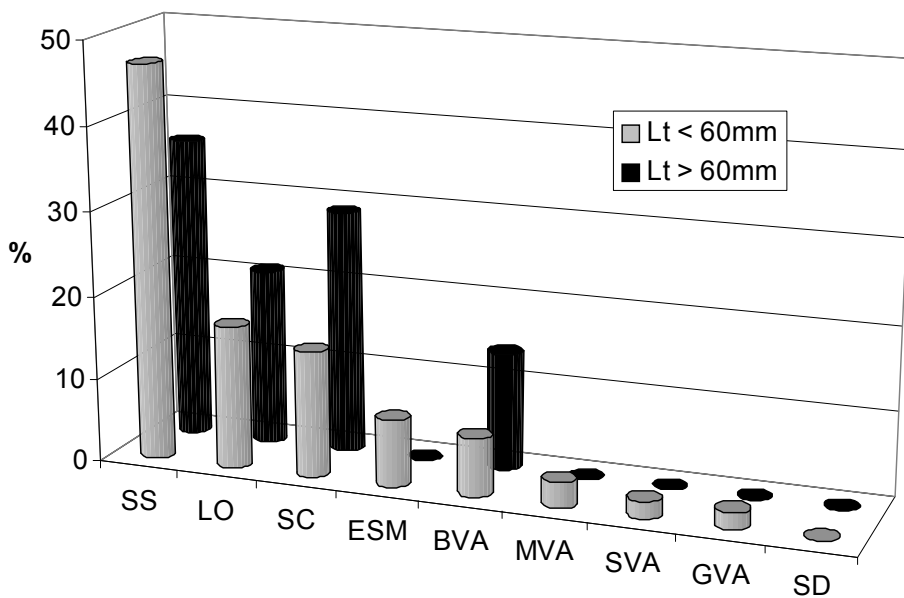


Figure 26 : Distributions de fréquence des larves de lamproies à différentes densités dans les mésohabitats.

5.1.2. Utilisation des habitats aquatiques

D'après les courbes de préférence, la profondeur de l'eau n'apparaît pas limitative pour la présence des larves. Dans les tronçons de cours d'eau étudiés, elles se retrouvent aussi bien dans quelques centimètres d'eau que dans des profondeurs allant jusqu'à 3 mètres. Les habitats de faibles profondeurs (≤ 50 cm) ressortent cependant comme optimaux. Une vitesse du courant près du fond à la fois faible et négative, c'est-à-dire correspondant à un contre-courant, ressort comme une condition optimale. Une vitesse située au-delà de 50 cm/s est limitative pour la présence des larves. Enfin, un substrat dominant sablonneux, allant du sable fin à grossier constitue l'habitat optimal (Figure 24).

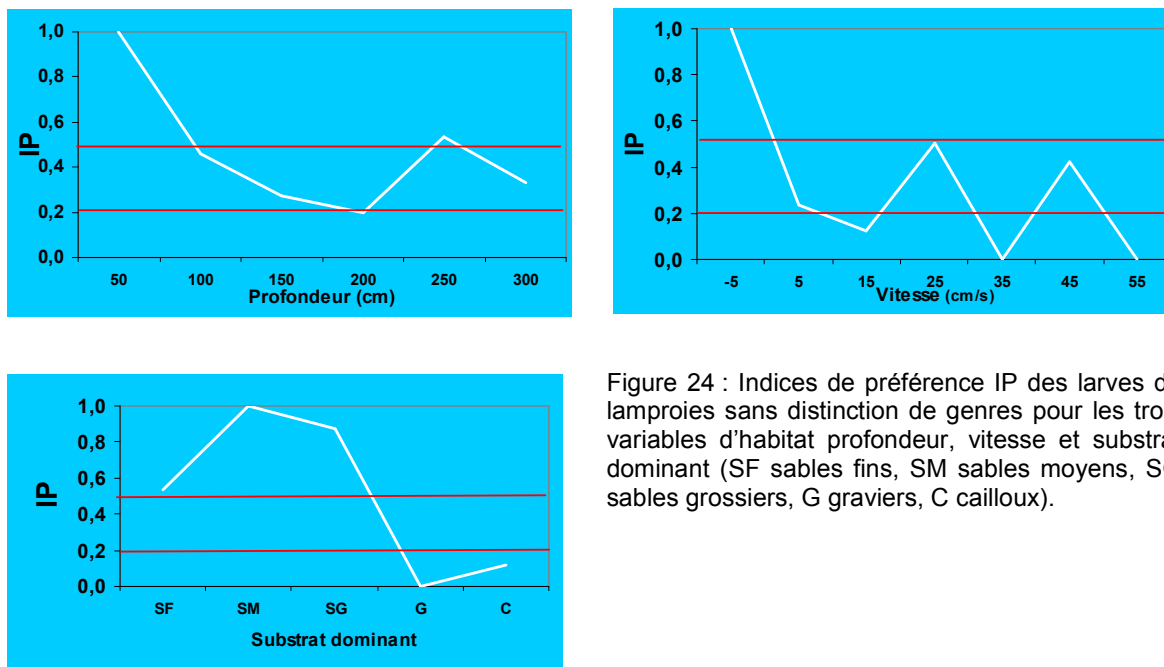


Figure 24 : Indices de préférence IP des larves de lamproies sans distinction de genres pour les trois variables d'habitat profondeur, vitesse et substrat dominant (SF sables fins, SM sables moyens, SG sables grossiers, G graviers, C cailloux).

Les sites présentant un substrat meuble (Type I) correspondent à des mouilles, des zones de contre-courant, d'étalement et l'aval d'un obstacle au courant. Ces habitats concentrent 74% des larves capturées avec une moyenne de 2,57 larves/m². Les quantités trouvées dans les habitats de type II et III sont nettement plus faibles (0.35 à 0.11 larves/m² - Tableau 7 & Annexe 8). En cumulant les données des 4 rivières, la probabilité de trouver des larves dans les habitats de type I reste basse (45%) à très basse dans les autres habitats (types II et III : 10%).

Dans les habitats de type I, les larves présentent un fort degré d'agrégation significativement différent de celui qui peut être attendue dans une distribution suivant une loi de Poisson (Figure 25 ; $\chi^2 = 23.85$, $p < 0.001$). Les résultats montrent une proportion de stations sans larve et de quelques stations avec plusieurs larves plus élevée que celle attendue dans une distribution au hasard (Figure 25). Ainsi, les regroupements de larves constatés peuvent parfois atteindre 19 ind./m². De plus, il faut signaler que les larves des deux genres se retrouvent dans les mêmes stations dans 12.5% des cas.

Sans distinction des genres, il ressort que les larves de petite taille (14mm <Lt< 60mm) comme celles de plus grandes tailles (Lt > 60mm) sont majoritairement réparties dans les substrats sablonneux à litières organiques (Figure 26). D'après la classification en mésohabitats (cf. Tab. 2) elles fréquentent particulièrement les sables stables et deviennent de moins en moins fréquentes au fur et à mesure que le substrat devient uniquement grossier.

Tableau 8 : Résumé des caractéristiques de l'échantillonnage réalisé, des larves observées et de leurs microhabitats par cours d'eau
(Lt : longueur totale – moyenne ± écart-type, nombre, et (étendue))

	Liveenne	Dronne	Cère	Dordogne
Nombre de stations avec au moins une larve	10/21	8/61	4/17	9/37
Lt <i>P. marinus</i> (mm)	- 2 (43 – 50)	65 ± 24 8 (29 - 127)	34 ± 15 19 (17 - 135)	34 ± 4 19 (29 - 44)
Lt <i>Lampetra</i> sp. (mm)	42 ± 10 17 (14 - 76)	57 ± 36 4 (22 - 107)	51 ± 12 4 (43 - 69)	- 1 101
Profondeur (cm)	28 ± 9 (13 - 67)	123 ± 56 (30 - 290)	- (30 - 80)	168 ± 45 (80 - 250)
Vitesse près du fond (cm/s)	11 ± 9 (0- 43)	2 ± 1 (0 - 6)	- (1 - 3)	9 ± 7 (0 - 30)
Matières organiques (% poids sec)	1.3 ± 2.1 (0.2 - 11.2)	5.7 ± 4.5 (0.7 - 16)	- (1.5 - 18.3)	2.64 ± 1.7 (0.9 - 6.7)
Limons	0	0.2 ± 0.3 (0 - 1)	0	0
Sables fins	6.6 ± 9.2 (1.2 - 48.7)	33.3 ± 21.7 (0.9 - 79.5)	- (7.6 - 35.3)	20.3 ± 11.9 (8.0 – 46.0)
Sables moyens	25.1 ± 6.6 (10.1 - 44.1)	32.5 ± 15.3 (8 - 57.3)	- (10.4 - 46.4)	59.7 ± 13.6 (36.0 – 80.0)
Sables grossiers	50.8 ± 10.2 (7.2 - 62.5)	28.3 ± 18.3 (1.6 - 78.6)	- (16.2 - 40.5)	5.5 ± 3.0 (1.0 – 12.0)
Graviers	17.6 ± 7.4 (0 - 35.7)	5.8 ± 6.6 (0.4 - 28)	- (5.6 - 29.3)	9.8 ± 8.7 (1.0 – 29.0)
Cailloux	0	0	- (0 - 18.6)	4.67 ± 7.1 (0 – 22.0)

Tableau 7 : Densités des larves espèces confondues (ind.m⁻²) obtenues dans chacun des trois types d'habitat selon la classification de Slade & al. (2003) pour l'ensemble des cours d'eau (moyenne, (étendue) *différence de moyenne entre types consécutifs*)

I	II	III
2.57	0.35	0.11
(0-19)	(0-4)	(0-2)
2.2	0.24	

Les sables constituent la classe dominante des particules dans 100% et 80% des stations dans lesquelles ont été capturées respectivement des larves *Lampetra sp.* (n=26) et *P. marinus* (n=38). Selon la classification triangulaire des sols, les deux groupes de substrats préférentiels qui se dégagent sont dits sablonneux et sablo-graveleux (Annexe 9).

Dans les autres stations fréquentées par *P. marinus* (20% - n=10), la classe des cailloux peut dominer en tant que substrat mais il s'agit alors d'un milieu colonisé par des massifs de végétaux aquatiques denses ou épars qui fournissent à la base de leur système végétatif une zone d'abri.

Dans l'ensemble des substrats habités, tous cours d'eau confondus, les larves des deux genres occupent des sédiments :

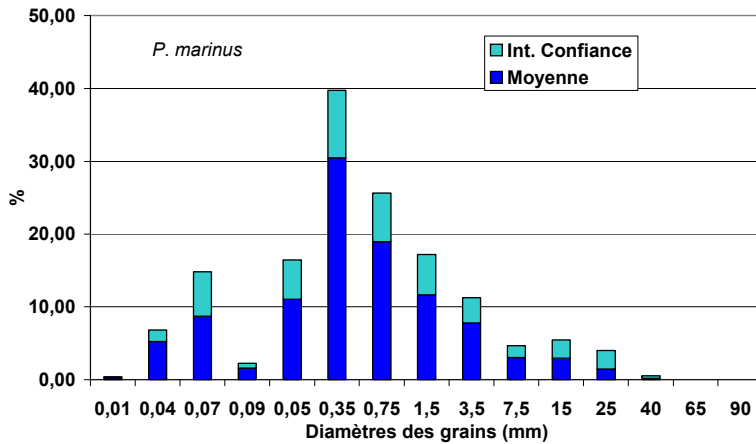
- systématiquement organiques, allant d'un pourcentage en matières organiques faible à moyen (0.2 à 18.3% du poids sec) (Tableau 8).
- dont la taille moyenne des particules ou Dg se situe à proximité de la limite entre les classes des sables moyens et des sables grossiers (Dg *P. marinus* : 0.60 mm ± 0.59 d.s, n = 17 – Dg *Lampetra sp.* : 0.68 mm ± 0.44 d.s, n = 15) ; les distributions de fréquence des diamètres des grains entre *Petromyzon* et *Lampetra* ne montrent pas de différences significatives (p>0.05) (Figure 27).

La représentation de type ACC confirme les résultats précédents (Tableau 9, Figure 28) :

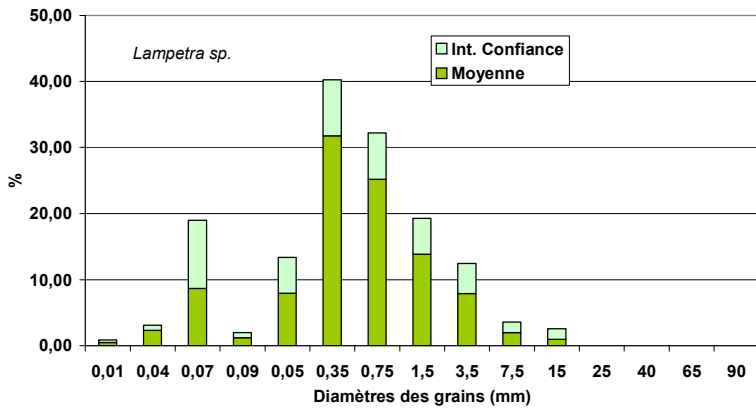
- les variables environnementales retenues expliquent près de 50% de la variance totale observée avec les deux premiers axes cumulés de l'ACP
- au niveau de l'axe I, la corrélation est très élevée avec les sables fins (0.912) et élevée avec les sables grossiers et la M.O. (-0.742 et 0.736
- l'axe II, de son côté, identifie une corrélation élevée avec les sables moyens (-0.706

Tableau 9 : Poids des variables dans chacun des deux axes et pourcentages de la variance totale expliquée par les axes

	Axe I	Axe II
SF	0.912	0.155
SG	-0.742	-0.354
MO	0.736	0.368
Vit. fond	-0.548	0.144
G	-0.521	0.640
SM	0.403	-0.706
C	-0.142	0.583
Profondeur	0.227	0.367
L	0.262	0.082
Variance totale expliquée	31.1 %	18.8 %



a



b

Figure 27 : Distributions de fréquence des particules de sédiments dans les habitats des larves *P. marinus* (a) et *Lampetra sp.* (b)

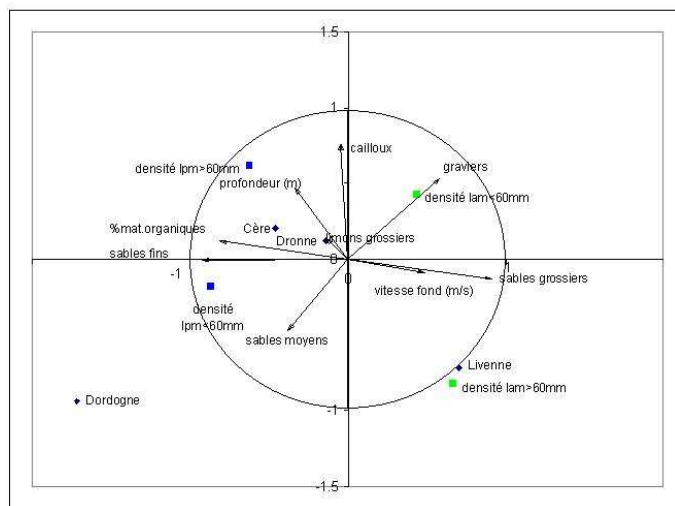


Figure 28 : Distribution des différentes abondances spécifiques des genres *Petromyzon* et *Lampetra* par classe de taille selon les variables du milieu (classe des particules, M.O., vitesse du courant et profondeur – Diagramme ACP)

Parmi les principales variables considérées, ce sont celles qui peuvent expliquer la répartition spatiale des larves. La vitesse du courant, la profondeur et les limons apparaissent comme des variables peu explicatives.

Le premier et le deuxième axe du diagramme ACP distinguent les quatre catégories de lamproies retenues [*Petromyzon* d'une part, *Lampetra* d'autre part, de taille inférieure et supérieure à 60mm]. Les jeunes larves *Petromyzon* (Lt<60mm) semblent préférer les zones à sables fins à moyens. Pour des tailles supérieures, elles recherchent des milieux plus riches en matière organique. Le groupe des *Lampetra* de taille < 60mm montre une préférence pour des substrats à tendance graveleuse alors que celles de taille > 60mm, plus âgées, se cantonnent dans des sédiments plus sableux.

5.2. La tentative de détermination des espèces du genre *Lampetra*

5.2.1. Rappels des résultats de la phase II

La méthode PCR-RFLP a été appliquée à de nombreux échantillons de larves de lamproies provenant de la partie basse du bassin Gironde Garonne Dordogne, ceci pour différencier les deux genres *Petromyzon* et *Lampetra*. Postérieurement nous avons tenté d'autres méthodes pour séparer les deux espèces de *Lampetra* (*L. fluviatilis* et *L. planeri*). Chez des animaux adultes, une autre région mitochondriale dite D-Loop, plus variable que le gène codant pour le CytB, a été analysée. Les fragments PCR obtenus ont été séquencés et les séquences alignées avec le logiciel Clustal X. Les résultats de l'arbre phylogénétique obtenu sur la base de 42 animaux ont montré que :

- les individus *L. planeri* et *L. fluviatilis* ne sont pas différenciables ; les branches représentant les distances génétiques ne diffèrent que d'un à deux nucléotides
- aucune corrélation entre ces différences et les individus appartenant à l'espèce *L. planeri* ou *L. fluviatilis* n'est observable
- il n'existe pas de corrélation entre l'arbre phylogénétique et la provenance des individus
- certains individus sont hétérozygotes pour une séquence répétée REP1 du D-Loop

Ces travaux viennent donc consolider la thèse de l'existence de deux morphotypes de la même espèce .

5.2.2. Résultats de la phase III

Recherche d'autres régions d'intérêt dans le génome mitochondrial

Après analyse de la séquence du génome mitochondrial de *L. fluviatilis* disponible dans les banques de données, nous avons repéré une **autre région non-codante** différente de la région D-loop. Elle se situe entre les gènes codant pour les ARNs de transfert Thréonine et Glutamine et le cyt B et présente de multiples répétitions directes.

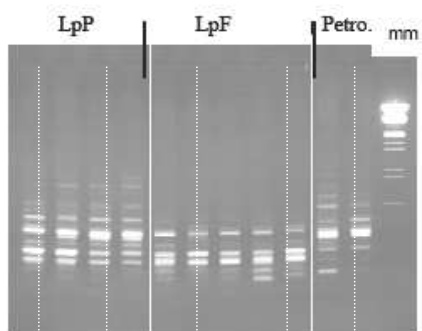


Figure 29 : RAPD en utilisant l'amorce H6

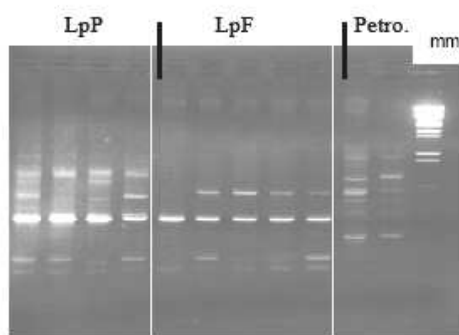


Figure 30 : RAPD en utilisant l'amorce H8

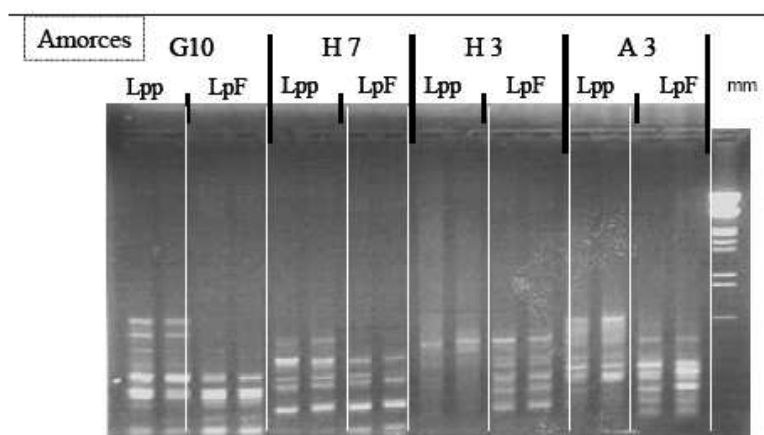


Figure 31 : RAPD en utilisant les amorces G10, H7, H3 et A3

LpP (*L. planeri*) ; LpF (*L. fluyialtilis*) ; Petro. (*Petromyzon marinus*)
 mm : marqueur moléculaire²

² phage lambda coupé par 2 enzymes (Hind III et EcoR1) qui permet d'avoir une échelle de taille et de masse d'ADN et de comparer les bandes d'échantillons

Aucune différence visible sur gel classique d'agarose n'ayant été obtenue, la mise au point de la séparation des fragments de PCR sur gels dénaturants, type DGGE a été tentée. Ces essais effectués sur 40 individus adultes *L. fluviatilis* et *L. planeri* ont donné des profils différents selon les individus mais pas selon les « espèces ». A nouveau, aucune corrélation entre les profils et l'origine géographique des échantillons n'a été observée.

Méthode de typage RAPD

Une autre technique moléculaire a été testée sur des extraits d'ADN d'animaux adultes. Il s'agit de la **RAPD** ou **Random Amplified Polymorphic DNA**. Cette méthode de typage moléculaire a déjà été utilisée pour la différenciation des espèces, voire des individus, depuis des bactéries jusqu'à des animaux.

Quinze amorces de décamères différentes³ ont été utilisées séparément: OPH8, OPH6, OPH7, OPH3, OPG10, OPA3, SO2, SO8, SO9, LO1, LO2, LO3, LO4, LO5, LO6. Le principe est qu'elles s'accrochent au hasard sur le brin d'ADN déshybridé, mais toujours de la même façon sur le même ADN. Plusieurs fragments de tailles différentes sont amplifiés. La visualisation sur gel d'agarose permet de comparer la taille et l'intensité de ces fragments (profil RAPD) et de choisir parmi les quinze amorces celles qui sont les plus discriminantes.

La comparaison a d'abord été faite sur 4 ou 5 *L. fluviatilis*, *L. planeri*, et aussi *P. marinus*, ceci avec toutes les amorces citées. Les figures 29 à 31 montrent les amplifications obtenues avec des amorces différentes susceptibles de permettre de conclure à la séparation des deux espèces de *Lampetra*.

Les amorces O4 et O5, par exemple, ont donné des différences moins nettes (Figure 32). Avec d'autres amorces, aucune différence n'a été observée. Globalement, il est apparu, presque pour toutes les amorces testées, que le profil de *Petromyzon* était différent de celui *Lampetra*.

Après ce screening préliminaire, certaines amorces semblaient différencier plus au moins *L. planeri* et *L. fluviatilis*. *L. planeri* présente par exemple un plus grand nombre de bandes vers 800pb avec les amorces H6, H8, A3 et G10 (cf. figure 3).

Pour pouvoir émettre des hypothèses valides, d'autres individus de chaque espèce devaient être utilisés et la répétitivité des RAPDs analysée.

La figure 33 montre un exemple, dans lequel l'amorce G10 a été utilisée avec un plus grand nombre d'individus. Les bandes vers 800 pb, présentes précédemment pour *L. planeri* seulement, manquent pour certains individus de *L. planeri* (LpP d,e,f) et sont nettes pour des individus *L. fluviatilis* (LpF1,2,3).

Après vérification des résultats préliminaires obtenus avec l'amorce G10, les deux « espèces » n'ont donc pas vraiment pu être séparées. La même constatation a été faite avec les amorces H8 et H6.

Nous avons aussi essayé de voir s'il existait une différence entre les individus selon leur provenance. Dans les figures 34 et 35 sont représentés quelques uns des profils obtenus à partir des *L. planeri* pour 3 sites de prélèvement différents. En utilisant les amorces G10 et H8, des profils identiques sont apparus quelque soit l'origine géographique des individus de *L. planeri*, Jalle de Blanquefort (Gin), Saucats ou Eau Bourde.

³ dans la série vendue par OPERON

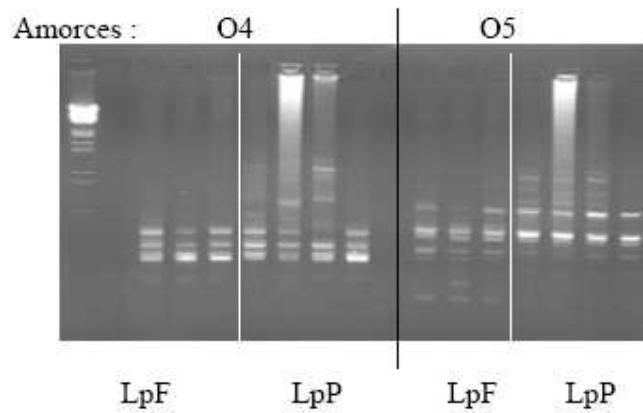


Figure 32 : RAPDs en utilisant les amorces O4 et O5.

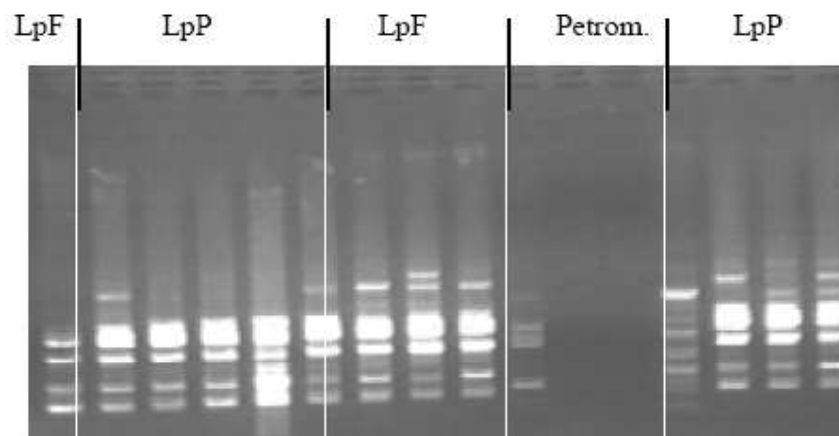


Figure 33 : RAPD en utilisant les amorces G10 avec d'autres individus.

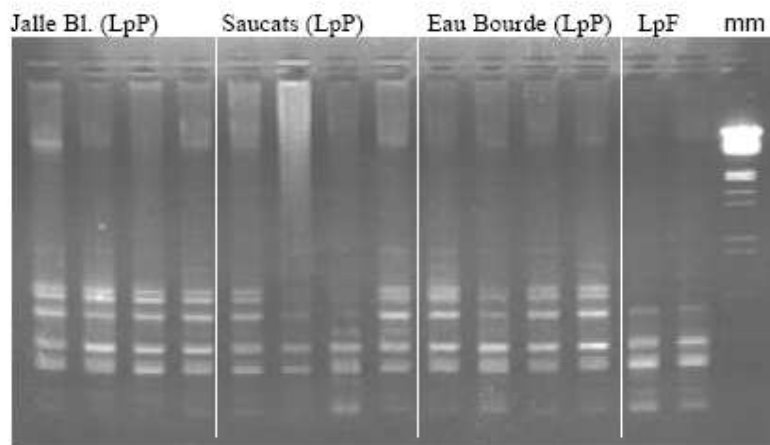


Figure 34 : RAPD en utilisant les amorces G10

LpP (*L. planeri*) ; LpF (*L. fluviatilis*) ; Petrom. (*Petromyzon marinus*) - mm: marqueur moléculaire

Cette méthode RAPD a été aussi appliquée à un grand nombre de larves après leur classement dans le genre *Lampetra* par la méthode PCR-RFLP décrite précédemment.

Les figures 36 et 37 montrent les profils RAPD obtenus avec les amorces G10 et H8 sur une série d'individus issus de deux cours d'eau de la région de Metz : le Rule et le Boulacourt⁴.

- Tous les échantillons de Boulancourt sont identiques avec G10 et ressemblent aux témoins *L. planeri*.

- Les animaux de Rule sont identiques et ressemblent à *L. planeri* avec l'amorce H8, mais à *L. fluviatilis* avec l'amorce G10.

En conclusion, la méthode RAPD testée avec un grand nombre d'amorces différentes et sur un grand nombre d'individus n'a pas permis de différencier les deux espèces de *Lampetra* d'une manière certaine, ni de définir des profils différents selon l'origine géographique des animaux.

5.3. La caractérisation démographique des adultes migrants

5.3.1. Caractéristiques générales

Au cours des saisons 2003 et 2004, axes confondus, 250 et 331 lamproies marines sexées ont pu être examinées à la fois en terme de sexe, de taille et de poids. Sur l'ensemble des deux saisons, le sexe-ratio est proche de 1:1 (278 mâles et 303 femelles) le poids moyen obtenu (\pm DS ; minimum - maximum) est de 1.12 kg \pm 0.24 (0.55 kg - 2.26 kg) la taille moyenne de 836 mm \pm 66 (640 mm –1040 mm). Les caractéristiques générales de ces échantillonnages sont présentées dans le tableau 10 et l'annexe 10.

Des suppléments en taille et en poids ont été obtenues à partir de lamproies non sacrifiées : 132 en 2003, puis, 387 (relevés en taille) et 207 (relevés en poids) en 2004 (tableau 11).

Les tailles et les poids moyens montrent une légère augmentation en 2004 par rapport à 2003, à la fois sur la Garonne et la Dordogne.

tableau 11 : Longueur totale (mm) et poids total (g) moyens des lamproies marines (moyenne \pm DS, minima-maxima (), nombre) observés selon l'axe fluvial et la saison

	Dordogne		Garonne		Total	
	Lt	Wt	Lt	Wt	Lt	Wt
2003	841 \pm 60 (655-995)	1101 \pm 252 (470-1630)	799 \pm 71 (673-1040)	1036 \pm 258 (545-2060)	825 \pm 67 (655-1040)	1075 \pm 256 (470-2060)
	233	233	149	149	382	382
2004	861 \pm 56 (712-1185)	1180 \pm 225 (750-2260)	833 \pm 66 (640-970)	1133 \pm 220 (640-1735)	854 \pm 60 (640-1185)	1165 \pm 224 (640-2260)
	551	371	167	167	718	538

⁴ Echantillons issus du Conseil Supérieur de la Pêche DR de Metz

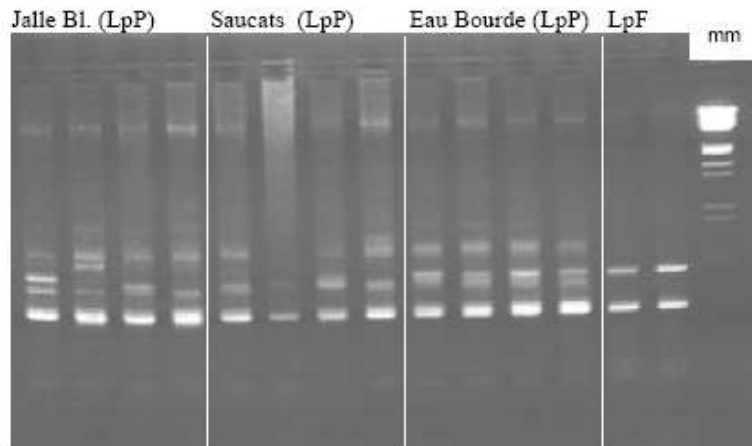


Figure 35 : RAPD en utilisant les amorces H8.

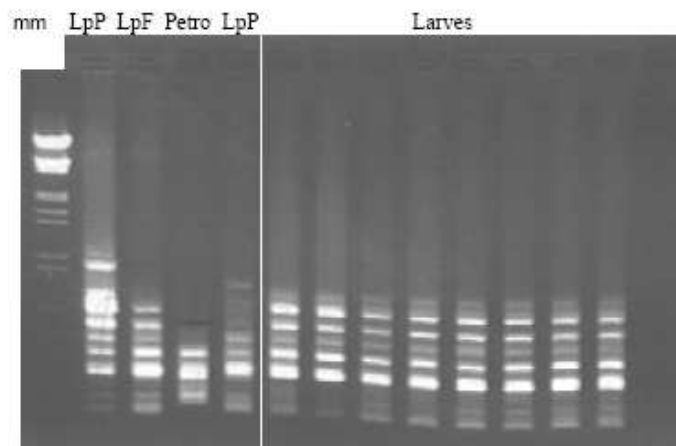


Figure 36 : RAPD avec l'amorce G10 sur différentes larves et des contrôles adultes LpP, LpF et LpM

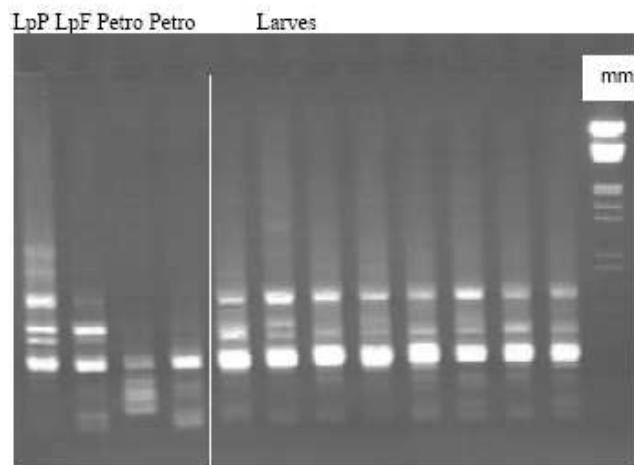


Figure 37 : RAPD avec l'amorce H8 sur différentes larves et des contrôles adultes LpP, LpF et LpM.

LpP (*L. planeri*) ; LpF (*L. fluviatilis*) ; Petro (*Petromyzon marinus*) - mm : marqueur moléculaire

5.3.2. Influences des variables environnementales sur les variations des paramètres démographiques

Paramètre sexe ratio

Afin de discerner l'influence du fleuve, du métier, du mois et de l'année d'échantillonnage sur les variations de sexe-ratio observés dans le tableau 10, la probabilité d'avoir une femelle a été analysée à l'aide d'un modèle GLM de type logistique (lien logit et distribution binomiale). Ces variables explicatives ont été testées avec le modèle suivant :

$$\ln\left(\frac{p(\text{femelle})}{1-p(\text{femelle})}\right) = a + \text{fleuve} + \text{metier} + \text{mois} + \text{année} + \text{erreur}$$

Les effets fleuve et année apparaissent comme non significatifs (tableau 12). Les effets avec des valeurs positives sont des effets qui augmentent la probabilité d'avoir une femelle. Il ressort que le mode de pêche induit un biais car le métier bourgne a tendance à pêcher plus de femelles que le métier filet. Il faut noter également que le pourcentage de mâle est plus important en début de saison (janvier-février) qu'en fin de saison (mars-avril-mai). L'effet "février" étant plus grand (en valeur absolu) que l'effet "bourgne", le sexe-ratio apparaît donc légèrement en faveur des mâles en début de saison.

Paramètres taille, poids, relation taille-poids et RGS

Afin de discerner l'influence du fleuve, du sexe, du métier, du mois et de l'année d'échantillonnage sur les variations de longueur, de poids (cf. tableau 12) et la relation qui relie le poids à la taille, un GLM, un lien identité et une distribution normale (⁵) ont été utilisés. La relation taille-poids qui s'écrit classiquement : $W = a L^b$ (poids en g et taille en mm) a été linéarisée grâce à une transformation logarithmique. Le modèle s'écrit :

$$\ln W = a + \text{fleuve} + \text{métier} + \text{mois} + \text{année} + \text{sexe} + b \times \ln L + \text{erreur}$$

Le sexe n'a un effet significatif que sur la relation taille-poids (Tableau 13).

Pour la taille et le poids, les effets jouent dans le même sens. Ces deux paramètres sont plus élevés en Dordogne qu'en Garonne. Ils sont également plus élevés avec le métier filet qu'avec le métier bourgne. La taille et le poids diminuent de janvier à mars pour augmenter à nouveau légèrement en avril et diminuer à nouveau en mai. Les femelles apparaissent avec un poids significativement plus élevé. Les effets année et sexe paraissent avoir moins d'effet sur la taille et le poids que le fleuve, le métier et le mois qui ont une influence similaire.

Pour la relation taille-poids, seul l'effet année n'est pas significatif (tableau 13). Le mois influe plus sur la relation taille-poids que le sexe. Ainsi, la différence entre une lamproie d'avril et de janvier est de 0.13 alors que la différence entre un mâle et une femelle n'est que de 0.04. La figure 38 illustre cet aspect. En prenant comme référence les mâles pêchés en Garonne au filet au mois d'avril, les femelles pêchées dans les mêmes conditions apparaissent à peine plus grosses. En janvier, au contraire, pour des tailles identiques, les poids des mâles sont plus importants.

⁵ analyse de variance

Tableau 10 : Caractéristiques générales de l'échantillonnage

année	fleuve	métier	mois	nombre d'échantillonnage	N	(mâle : femelle)	taille moyenne (mm)	poids total moyen (g)	RGS moyen chez les femelles
2003	Dordogne	bourgne	janvier	1	20	(10 :10)	850	1181	7.95
			février	1	21	(13 :8)	847	1118	8.67
		filet	mars	2	40	(20 :20)	859	1166	9.14
		avril	1	20	(5 :15)	860	1152	10.20	
	Garonne	bourgne	janvier	1	29	(16 :13)	783	1025	10.44
			février	1	30	(21 :9)	759	934	11.00
		filet	mars	1	30	(7 :23)	753	795	12.63
		avril	2	60	(29 :31)	850	1213	10.65	
Total 2003					250	(121 :129)	822	1085	10.40
2004	Dordogne	bourgne	janvier	1	20	(8 :12)	839	1128	9.80
			février	1	20	(13 :7)	847	1121	10.20
		filet	mars	1	10	(6 :4)	882	1241	8.05
		filet	mai	2	43	(16 :27)	837	1044	10.80
		mélange « dit » filet	mars	2	31	(18 :13)	863	1137	9.39
		avril	2	40	(17 :23)	898	1294	8.28	
	Garonne	bourgne	février	1	30	(14 :16)	804	1000	10.90
			mai	1	19	(8 :11)	751	990	11.70
		mélange « dit » filet	mars	1	28	(15 :13)	816	1054	9.60
		avril	3	90	(42 :48)	865	1232	9.03	
Total 2004					331	(157 :174)	847	1143	331
Total					581	(278 :303)	836	1118	581

Pour le rapport gonado-somatique, les effets année et métier ne sont pas significatifs. Plus la taille de la lamproie est importante et plus le RGS est faible, ce qui explique l'effet plus élevé en Garonne qu'en Dordogne. L'effet mois montre bien que plus la saison avance et plus le RGS est fort au sein des vagues de femelles migrantes.

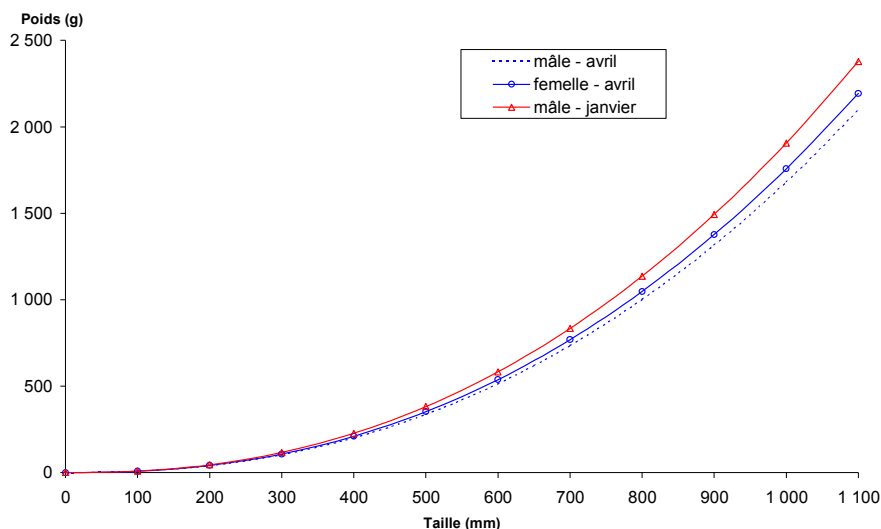


Figure 38 : Exemples de courbe taille-poids prédite par le modèle taille-poids avec des individus *P. marinus* issus du fleuve Garonne.

5.3.3. Tentative de détermination d'un âge

Le cas *P. marinus*

Seuls les statolithes des lamproies marines capturées dans la Dordogne ont été utilisés ici (saisons 2003 et 2004 : 74 et 62 pièces).

Pour l'âge d'eau douce (AED) seul un accord de lecture relatif au nombre de marques (saisonniers et de métamorphose m) a été obtenu entre lecteurs. En 2003 et 2004, cet accord est respectivement de 42% et 32%. Cependant, le positionnement identique des marques n'ayant été acquis qu'avec très peu d'individus (< 5 individus par saison) l'âge de mer n'a pas été estimé. L'âge total obtenu pour la lamproie marine est donc uniquement un âge total théorique (ATt).

L'AED moyen trouvé est de 4 hivers en 2003 et de 3 hivers en 2004 (étendues respectives : 3 à 5 et 3 à 4 hivers) (Tableau 14).

L'ATt moyen se situe entre 6 et 7 hivers en 2003 sans qu'aucune différence entre les sexes n'apparaisse. En 2004, l'âge moyen est plus faible d'un hiver (5 et 6 hivers) (Tableau 14). Saisons confondues, l'étendue de l'ATt est de 5 à 8 hivers.

Tableau 12 : Valeurs des paramètres et significativité des effets pour le GLM sexe
(ns=non significatif ; * = p<5% ; ** p<1%)

Effet	Sexe (proportion de femelles)
constante	-0.41 ns
métier	*
Bourgne	0.87
filet	0
mois	**
Janvier	-0.43
Février	-0.88
Mars	0.27
Avril	0.64
Mai	0

Tableau 13 : Valeurs des paramètres et significativité des effets pour les GLM taille, poids et
taille-poids (ns = non significatif ; * = p<5% ; ** = p<1%)

effet	taille (mm)	poids (g)	taille-poids	RGS femelle
constante a : ()	805 **	1099 **	-8.4946 **	11.5455**
fleuve	**	**	**	**
Dordogne	53	100	-0.0588	-1.094
Garonne	0	0	0	0
métier	**	**	**	ns
bourgne	-31	-165	-0.0846	
filet	0	0	0	
mois	**	**	**	**
janvier	28	119	0.0375	-1.8317
février	22	60	-0.0014	-1.4794
mars	13	-46	-0.0997	-0.9711
avril	54	98	-0.0884	-0.8336
mai	0	0	0	0
année	**	*	ns	ns
2003	-19	-43		
2004	0	0		
sexe	ns	*	**	
femelle		39	0.0448	
mâle		0	0	
taille				**
coefficient ln L (b)			2.3177**	-0.0173

Tableau 14 : Age total théorique en nombre d'hivers pour les lamproies marines des saisons 2003 et 2004 pêchées en Dordogne, sexes confondus (moyenne \pm déviation standard ; étendue - AMT : âge de mer théorique)

Saison	N	AED	AEM t1: 1,5 ans	AEM t2 : 2,5 ans
2003	27	3.8 \pm 0.6 (3-5)	5.8 \pm 0.6 (5-7)	6.9 \pm 0.6 (6-8)
2004	20	3.1 \pm 0.2 (3-4)	5.1 \pm 0.2 (5-6)	6.1 \pm 0.2 (6-7)

Le cas *L. fluviatilis*

Un total de 158 lamproies fluviatiles a été échantillonné en Dordogne et en Garonne au cours de la saison 2003. Sur les 138 inclusions de statolithes d'individus différents réussies, l'accord de présence d'une marque de métamorphose entre deux lecteurs a été obtenu dans 36% des cas. Ce pourcentage s'est avéré plus élevé avec les échantillons de la Dordogne (45%) qu'avec ceux de la Garonne (27%). Seuls les statolithes présentant un accord de positionnement entre deux lecteurs, à la fois pour les marques saisonnières et la marque dite *m*, ont été sélectionnés pour l'estimation de l'âge, soit 34 statolithes.

La valeur moyenne de l'AED lu est de 3 hivers (étendue : 2 à 3 hivers).

Dans le cadre de l'âge de mer estimé (AEMe), aucune des distances mesurées d'apm (distances après la marque de métamorphose (moy. = 54 μ m ; d.s. = 14 ; étendue : 30 à 90) n'est apparue supérieure à la d'apm qui lui correspondait (distance entre la marque dite de naissance et de métamorphose - moy. = 113 ; d.s. = 22 ; étendue : 80 à 165) (Annexe 11). La valeur moyenne de AEMe est de 11 mois (Tableau 15).

La valeur moyenne de l'âge total estimé ATe est de 48 mois ce qui correspond à 4 hivers (étendue : 3 à 6 hivers). L'âge total théorique ATt est en moyenne de 5 hivers. Aucune différence d'âge n'est apparue entre les sexes.

Tableau 15 : Age de mer estimé AEMe , âge total estimé ATe et âge total théorique ATt pour les lamproies fluviatiles de la saison 2003 – axes et sexes confondus (moyenne \pm déviation standard ; étendue)

N	AEMe (mois)	ATe (mois)	ATt (hiver)
34	11 \pm 4 (5-25)	48 \pm 9 (35-68)	5 \pm 1 (4-6)

6

Discussion et perspectives

6.1. Les Habitats de grossissement des larves

La densité des larves de lamproies, toutes espèces confondues, apparaît la plus élevée dans la Livenne (5.43 ind/m²) et la plus faible dans la Dronne (0.32 ind/m²). Ce constat peut être attribué au facteur de dispersion 10 fois plus grand pour cette dernière rivière. Cependant, la Cère, qui présente elle aussi un facteur de dispersion du même ordre que celui de la Dronne, montre une abondance en larves près de 4 fois plus forte (1.21 ind/m²). Dans le cas de la Dordogne, la densité observée est presque équivalente à celle de la Dronne (0.49 ind/m²) or il s'agit d'un fleuve à la largeur de lit et au linéaire respectivement 3 et 20 fois plus important. La sélection des secteurs à échantillonner s'étant faite selon un protocole identique et l'effort de pêche ayant été en proportion plus conséquent sur la Dronne que sur les autres cours d'eau, la raison de la faible abondance observée serait à approfondir. Dans la Livenne, la proportion des individus du genre *Lampetra* sp. est plus de huit fois supérieure à celle du genre *Petromyzon*. Au contraire, la Dordogne apparaît essentiellement habitée par des larves *P. marinus*.

Comme l'ont déjà souligné Torgersen et Close (2004) les habitats souhaitables pour les larves peuvent être présents sur toute une section de cours d'eau mais sont relativement limités à des échelles spatiales plus petites. A partir des cours d'eau du bassin de la Dordogne étudiés ici, il ressort que les larves sont plus fréquentes et abondantes dans les habitats de type I (45%, 2.6 ind/m²). Ces habitats renferment les substrats sablonneux (sables fins à grossiers) et la matière organique qui sont les principales variables explicatives de la concentration des larves des deux genres *Petromyzon* et *Lampetra*. Dans les haut-fonds comme en eau profonde, la nature des substrats explique en partie la densité et la distribution des larves. Pour de nombreux auteurs, la sélection des habitats par les larves de lamproies s'établit selon la granulométrie des fonds (Applegate 1950; Baxter 1957; Wigley, 1959; Hardisty 1961; Manion et Mc Lean 1971; Manion et Smith 1978; Kainua et Valtonen 1980; Anderson 1988; Lee 1989; Young et al., 1990; Beamish et Jebbink 1994; Beamish et Lowartz 1996; Almeida et Quintella 2002; Sugiyama et Goto 2002; Fodale et al., 2003). Les plus grandes concentrations de larves *P. marinus* se trouvent dans des sites contenant fréquemment des débris organiques non décomposés (petites branches, amas de feuilles) dans les contre-courants, tourbillons, sous et derrière les obstructions (arbres, racines) les herbiers sablo-vaseux en zone marginale ou non. Ces observations ont été signalées par d'autres auteurs (Hardisty 1944; Applegate 1950; Dendy et Scott 1953; Fodale et al., 2003). Yap et Bowen (2003) ont montré que la nourriture y est plus assimilable (seston à 90%) ; les larves qui ingèrent de manière sélective y obtiennent des facteurs de condition plus élevés.

Dans les sections de rivière à fond dur, la présence de végétation aquatique, de débris de bois grossiers et les berges peuvent augmenter de manière notable les habitats des jeunes larves, surtout en aval de frayères, grâce à l'existence de flocculats organiques. Il faut noter que dans les cours d'eau naturellement peu sablonneux, comme le sont la Cère et la Dordogne, des spots de ce sédiment sont souvent présents à l'aval immédiat de la confluence avec un tributaire.

Les caractéristiques des habitats occupés par les larves des deux genres de lamproies *Petromyzon* et *Lampetra* sont très similaires (Maitland, 2003). Dans notre étude, les larves *Lampetra* et *Petromyzon* n'occupent pas des tailles de particules significativement différentes. Dans le cas de la Livenne, une relation forte a été observée entre les larves de *Lampetra* de petite taille et les graviers. Ceci peut s'expliquer par une localisation persistante de larves de l'année parmi des substrats de frai qui sont typiquement de nature graveleuse pour ce genre.

La vitesse de courant relevée est la plupart du temps faible près du fond (Hardisty 1944; Applegate 1950; Schroll 1959; Potter 1970; Malmqvist 1980; Anderson 1988; Almeida et Quintella 2002; Sugiyama et Goto 2002). C'est bien évidemment un corollaire à la présence de sédiments fins et de matières organiques. Dans nos observations, les habitats préférentiels se situent dans des courants où la vitesse d'écoulement en moyenne est de 7 cm/s.

La 1^{ère} année, les larves restent concentrées près des sites de ponte puis se dispersent graduellement (Manion et Mc Lean 1971; Almeida et Quintella 2002). D'après Applegate (1950) les habitats meubles instables sont surtout colonisés par les jeunes de l'année. Ces derniers sont ensuite dispersés lors des crues. Toujours d'après cet auteur, les habitats stables renferment une plus grande proportion d'individus plus âgés qui recherchent plus particulièrement des substrats doux, épais et stables (mouilles, bancs, bordures). La stabilité du lit de la rivière est un facteur important à prendre en compte pour la présence des larves, les tronçons soumis à de fréquents transports de sédiments n'étant pas ou rarement colonisés (Malmqvist, 1980).

Le haut degré d'hétérogénéité spatiale dans la localisation et l'abondance des larves, même dans les habitats optimaux, suggère que les relations habitat et larve sont hautement dépendantes du contexte spatial comme par exemple la distribution de la ponte chez les adultes. Elles dépendent aussi de l'échelle d'observation (totalité ou partie d'un cours d'eau) (Torgersen et Close 2004). La taille des larves diffèrent tout au long d'un cours d'eau avec les plus petits individus qui prédominent en amont. Ceux métamorphosés sont plus nombreux dans les secteurs à débit plus élevé, c'est à dire vers les zones plus aval (Kelso et Todd 1993). Dans le temps, le choix des habitats par les larves peut aussi varier face aux changements environnementaux (Almeida et Quintella, 2002). Même dans les substrats adéquats, la distribution des larves peut être fonction des courants interstitiels et de la température de l'eau. Ainsi, en été, elles évitent les substrats en eau qui excèdent 19°C (Scott, 1989). Leurs déplacements n'apparaissent pas uniquement passifs et dictés par les niveaux d'eau et les écoulements forts. Les larves peuvent rechercher activement des aires qui leur sont favorables grâce à de petits mouvements réalisés vers l'amont dans des zones de courant faibles (Quintella et al., 2005).

6.1.1. Classification des habitats larvaires

Les habitats de type-I de la classification de Slade et al. (2003) correspondent à ceux dits optimaux selon APEM 20026 (in Harvey et Cowx, 2003). En accord avec ces auteurs, il s'agit de sédiments fins (sable) mélangés à de la matière organique, stables (courant faible) et épais (10 cm ou plus). Ils sont souvent très localisés dans l'espace. Dans notre cas, ils contenaient 74% des larves toutes espèces confondues. Cette valeur est assez proche de celle obtenue par Fodale et al., (2003) qui obtiennent 81% pour *P. marinus*.

La comparaison des différences des densités moyennes que nous avons obtenues entre les types I et II d'une part et II et III, équivalents des habitats qualifiés de sub-optimaux par

Harvey et Cowx (2003) d'autre part, donne une potentialité d'habitat 10 fois plus forte en faveur des habitats optimaux .

Cependant, il apparaît important de ne pas négliger ou sous estimer les habitats sub-optimaux en raison de leur caractère moins géolocalisé. Ainsi, les macrophytes aquatiques qui participent le plus souvent à leur définition peuvent se développer au sein des macrohabitats de grande étendue (e.d. : chenal, plat) au substrat grossier. Des végétaux comme les renoncules aquatiques (*Ranunculus fluitans*) les myriophylles en épis (*Myriophyllum spicatum*) les potamots (*Potamogeton lucens*) et les cornifles (*Ceratophyllum demersum*) peuvent entraîner d'importantes modifications de l'habitat. Leur développement est favorisé par les pollutions organiques ponctuelles. Ces macrophytes ralentissent les vitesses de courant et piègent les sédiments en changeant les capacités d'accueil d'origine de ces milieux (Haury, Baglinière et al. 1996). Pour les larves de lamproie, il s'en suit une augmentation saisonnière des zones de grossissement. De fortes densités larvaires ont parfois pu être relevées dans ces massifs de macrophytes (Applegate, 1950).

Sur la base de nos observations et en tenant compte des informations issues d'autres auteurs (Hardisty 1944, Manion et Mc Lain 1971, Manion et Smith 1978, Kainua et Valtonen 1980, Slade et al. 2003b), nous proposons un tableau de classification des habitats larvaires (Tableau 16).

Le travail d'évaluation du potentiel d'accueil en habitats larvaires d'un cours d'eau est envisageable. Il s'agira d'établir la méthode qui décrit la meilleure relation entre l'abondance des larves et les variables de l'habitat afin de mieux pondérer l'importance des habitats préférentiels. Il s'agira d'un élément de connaissance pour mieux protéger ces milieux.

6.1.2. Technique d'échantillonnage

La technique de la suceuse à eau permet un véritable échantillonnage en trois dimensions de l'habitat des larves qui vivent enfouies, sans limitation liée à l'épaisseur en eau et en substrat, avec de plus, une approche qui peut être très précise en terme de microhabitat. Consommatrice de temps et d'énergie (installation du chantier d'échantillonnage, tamisage des sédiments), elle apparaît cependant adaptée dans ce cadre d'étude qualitative sur les zones de grossissement des larves en rivières de catégories d'ordre différentes. Utilisée selon une procédure adéquate, son efficacité de pêche peut être jugée totale. Le principe de l'aspiration des sédiments a d'ailleurs parfois servi de système de vérification de l'efficacité d'appareils de pêche électrique (Bergstedt et Genovese 1994).

En comparaison, la pêche électrique classique⁷ est plus efficace en terme de capture par unité d'effort (individus par heure). Mais, elle ne peut se déployer que dans des eaux de faibles profondeurs (< 1 m) (Pajos et Weise 1994). Elle se limite donc aux zones de haut-fonds et aux petits cours d'eau (module 5 m³/s). Comme avec la plupart des espèces de poissons, les différences de taux d'efficacité des captures des larves de lamproies dépendent des caractéristiques des cours d'eau : la largeur, la profondeur, le courant, la clarté de l'eau, la conductivité et la température.

Tableau 16 : Catégories et principales caractéristiques des habitats d'eau douce susceptibles d'accueillir ou non des larves de lamproies dans le cadre de leur phase de grossissement, sans distinction de genres – (1) Type I, (2) Type II, (3) Type III selon Slade et al., 2003.

		Habitats optimaux (1)	Habitats sub-optimaux (2)		Habitats non optimaux (3)
Microhabitat	Granulométrie	Sédiments fins et stables (sables fins à moyens ; limons *)	Sables remaniés	Mélange de sédiments fins et grossiers	Sédiments grossiers
	Substrat	meuble	ferme		dur
		épais (10-15 cm)	épais	Epais à peu épais	-
	Matières organiques	présence			
Vitesse d'écoulement près du fond (Vf)	-10 cm/s ≤ Vf ≤ 10 cm/s	10 cm/s < Vf ≤ 45 cm/s		Vf > 45 cm/s	
Mésohabitat ou Ambiance		contre-courant, tourbillon, encoche d'érosion	confluence	Litière organique (tapis de feuilles, petites branches en décomposition) Végétaux aquatiques	veine d'écoulement roche mère
Macrohabitat ou Faciès d'écoulement	Bordure de lit				
	Banc				
	Zone d'étalement Lone ** Mouilles d'obstacle	Chenal lentique			
				Plat	
				Chenal lotique	
				Radier	
			Rapide		

(* d'après Hardisty 1944, Manion et Mc Lain 1971, Manion et Smith 1978, Kainua et Valtonen 1980, Slade et al. 2003 ; ** bras mort)

Du fait de l'enfouissement des larves, l'épaisseur et la nature des sédiments⁶ (Applegate, 1950) ainsi que la capacité de l'engin à stimuler l'émergence (Bergstedt et Genovese, 1994) jouent aussi sur le taux d'efficacité.

Dans l'objectif de déterminer la distribution et l'abondance des larves, la technique par pêche électrique pratiquée à l'aide d'un appareil portable (en courant continu) est dans la majorité des cas retenue. Une combinaison d'échantillonnages quantitatif (méthode d'épuisement par 3 passages) dans les habitats optimaux et semi-quantitatif dans les habitats sub-optimaux (méthode de calibration) est préconisée (Harvey et Cowx, 2003).

6.2. Le cas du genre *Lampetra*

Dans un premier temps, la méthode PCR-RFLP a permis de différencier très rapidement les larves au niveau des deux genres *Petromyzon* et *Lampetra*. Puis, aucune des autres méthodes moléculaires développées dans cette étude n'a réussi à discriminer *Lampetra fluviatilis* de *L. planeri*, soit les deux espèces habituellement décrites comme telles dans les faunes internationales. Tous les résultats obtenus ici incitent à penser qu'il s'agit de deux morphotypes de la même espèce. Nos travaux viennent donc consolider l'hypothèse de (Schreiber et Engelhorn 1998). Wajgel (1883) a été le premier à avancer qu'il s'agissait de la même espèce. Pour (Eneqvist 1937) la lamproie de rivière et la lamproie de planer étaient des formes alternées, issues d'une seule espèce, qui se développaient selon les différences d'habitats rencontrées au cours du stade larvaire. Des tentatives réussies de croisement entre *L. fluviatilis* et *L. planeri* auraient déjà eu lieu au laboratoire (Hardisty 1986) ; cependant, le devenir des larves, qui auraient vécu plusieurs années, n'a pas été décrit.

D'après (Salewski 2003) en démontrant que les larves *L. fluviatilis* et *L. planeri* vivant dans un même habitat pouvaient être identifiées grâce au nombre de leur oocytes, (Hardisty 1961; Hardisty 1963) aurait effacé l'hypothèse d'Eneqvist (1937). Vladykov et Kott (1979) puis Potter (1980) ont avancé que *L. planeri* avait évolué vers une forme sédentaire à partir de l'espèce migrante amphihaline correspondante *L. fluviatilis*. Il s'agit de la théorie de la spéciation sympatrique, désormais largement acceptée (Zanandrea 1959; Hardisty et Potter 1971; Vladykov et Kott 1979; Hardisty 1986; Yamazaki et al., 2001; Youson et Sower 2001). En effet, les populations peuvent devenir isolées sur le plan de la reproduction sans qu'il y ait de séparation géographique (Salewski 2003). Ce phénomène peut s'observer avec les différentes espèces paires de lamproies qui existent à travers le monde. L'évolution d'un accouplement assorti en terme de taille conduit souvent à une isolation répétitive entre sous-populations qui s'éloignent sur le plan écologique (Dieckmann et Doebeli 1999).

Mais, en accord avec (Mayr 1996) il apparaît judicieux cependant de baser le taxon espèce sur un faisceau d'informations moléculaire, comportementale, écologique, géographique et morphologique, avant de conclure sur le rang de populations isolées.

Sur un plan morphologique, la distinction entre les deux écotypes de l'espèce *Lampetra fluviatilis* ou *Lampetra lampetra* ne peut se faire qu'à partir du cinquième stade de la métamorphose : diamètre de l'oeil, longueur de la région pré-orbitale, largeur du corps, robe argentée nombre de dents (Hardisty et al., 1970; Bird et Potter 1979; Ducasse et Leprince 1980). Sur un plan moléculaire, cette étude électrophorétique révèle que les formes écologiques sympatriques *fluviatilis* (forme migratrice) et *planeri* (forme sédentaire) ne sont

⁶ Les vibrations induites par la marche dans le lit d'une rivière provoquent le repli des larves au fond de leur terrier - Lt 31 à 41mm : 3cm dans les sédiments ; 50 à 90mm : 5 à 8 cm ; 100 à 160 mm : 13 à 15 cm

Tableau 17 : Similitudes des interactions biologiques entre les formes marines et les formes de rivière chez les lamproies (*Lampetra fluviatilis* ou *Lampetra lampetra*) et les truites (*Salmo trutta*) - (1) d'après - * nbre d'oocytes par individu femelle : *Lampetra planeri* 5000 à 10000, *Lampetra fluviatilis* 10000 à 26000 (Hardisty, 1961) - ** : dépend des bassins versants et des cours d'eau - *** : anonyme 1994 in Ombredane et al., 1996 en contradiction avec **** : Charles 2001 in Baglinière et Maisse 2002

	Lamproies	Truites (1)
Différenciation génétique		
ADN mitochondrial	Non	Oui ***/ Non ****
Chevauchement des zones de frayère	Possible	Oui
Interfécondité	Oui	Oui
Tailles des géniteurs différentes	Oui à non **	Oui à non **
Chacune des deux formes peut produire des juvéniles de l'autre forme	?	Oui
Déterminations		
- morphologique	<u>Larves</u> : Non <u>Fin métamorphose</u> : Oui	<u>Jeunes</u> : Non <u>Après smoltification</u> : Oui
- physiologique	<u>Larves</u> : ± * <u>Fin métamorphose</u> : Oui	<u>Jeunes</u> : Non <u>Après smoltification</u> : Oui
Influence du paramètre croissance sur :		
- l'héritabilité partielle du caractère migratoire	?	Oui
- la fécondité relative	?	-
- le déterminisme et l'ampleur de la migration en mer	?	Oui

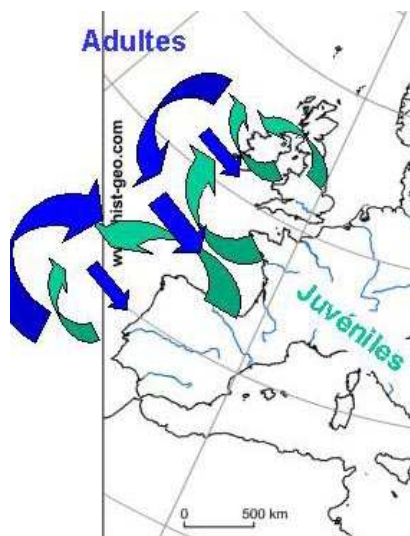


Figure 39 : Flux des lamproies migrantes et absence de homing

génétiqnement pas distinctes au moins dans la partie basse du bassin Gironde Garonne Dordogne, secteur où les lamproies ont été échantillonnées.

A l'instar des travaux réalisés sur la truite *Salmo trutta* (Guyomard 1991) il va s'agir de vérifier si les deux formes écologiques sympatriques fluviatilis et planeri, représentent des populations reproductivement isolées ou si les individus sédentaires planeri et migrateurs fluviatilis ne résultent pas plutôt d'une variabilité phénotypique intrapopulation.

Comme chez la truite (Ombredane et al., 1996; Ombredane et al., 1998) l'héritabilité partielle du caractère migratoire, l'influence de la croissance sur le déterminisme de migration de *L. fluviatilis* (ou *L. lampetra*) seraient susceptibles d'intervenir. L'importance de la grégarité dans les habitats larvaires pourrait également intervenir comme facteur déclenchant l'évolution vers la forme migratrice amphihaline (Tableau 17).

Pour l'heure, afin de mieux répondre à la conservation de ce que nous appellerons un complexe «plano-fluviatilis», les sites désignés ou non au titre de la Directive Habitats, correspondant à des parties de sous bassins versants dans lesquels les deux écotypes sont encore présents devraient faire l'objet de mesure de gestion appropriées. Des actions pilotes de restauration et de conservation des habitats naturels pourraient être menées sur certains. De telles prises de décision se justifieraient d'autant plus que ces sous bassins offrent également, dans la plupart des cas, des potentialités piscicoles fortes pour d'autres espèces menacées ou non (*Anguilla anguilla*, *Salmo trutta trutta*). L'écotype planeri présent sur certains tributaires pourrait être un des indicateurs des axes sur lesquels il conviendrait de ré-ouvrir l'accès à la forme fluviatilis afin d'augmenter le potentiel d'habitats pour les géniteurs et les larves.

6.3. L'estimation de l'âge à partir des statolithes

Au stade larvaire, l'estimation du coefficient de variation moyen de lecture donne une valeur élevée (24%) qui selon la suggestion de Laine & al. (1991 in (Panfili et al., 2002) devraient nous amener à considérer les lectures comme non acceptables. Les distributions de fréquence de taille peuvent constituer une deuxième approche indirecte de détermination de l'âge (Barker et al., 1997) mais elles nécessitent de disposer d'un grand nombre de larves par échantillon (Hardisty et Huggins 1970; Beamish et Medland 1988; Quintella et al., 2003) 400 au minimum (Ducasse et Leprince 1980) ce qui n'est pas le cas ici ($n < 100$).

L'interprétation des marques et les principes de lecture restent à valider chez les deux espèces.

Chez les migrants adultes des deux espèces, entre le stade larvaire et adulte, une marque de transition, que nous avons appelée « marque de métamorphose ou m » semble pouvoir être observée dans la pièce calcifiée dans 32 à 42% des cas chez *P. marinus* et *L. fluviatilis*. Il pourrait s'agir du faux annulus identifié au stade juvénile par Medland et Beamish (1991) lors de la période de croissance réduite et le commencement de l'alimentation parasite. Cette marque reste encore à valider.

Au vu des deux saisons suivies, les perspectives d'exploitation des statolithes de la lamproie marine apparaissent moins fortes que celles de la lamproie fluviale, les pièces calcifiées de cette dernière présentant plus souvent des marques nettes.

Un biais dans les estimations de l'âge réalisées selon notre procédé n'est pas à exclure, dû au faible pourcentage de statolithes lisibles et de la sélection sévère qui s'est opérée. La correspondance entre le nombre de bandes et l'âge s'avère moins rigoureuse lorsqu'un âge d'eau douce est élevé (Volk 1986). Aussi, le risque est soit d'éliminer plus spécialement les

statolithes des lamproies les plus âgées, plus difficiles à interpréter, soit de sous-estimer leur âge. Dans les deux cas, l'âge moyen du stock des migrants s'en trouve sous-estimé.

D'après les travaux de Bergstedt et Seelye (1995), les lamproies marines adultes ne sont pas soumises au homing mais sont attirés dans les cours d'eau où se trouvent les larves. Ce sont des acides biliaires émis par ces dernières, à travers leur fèces, qui jouent le rôle de phéromones migratoires (Li et al., 1995; Polkinghorne et al., 2001). Les migrants sont donc susceptibles de provenir de bassins versants très différents. Or, la méthode de lecture suppose une validation par bassin versant étudié. En effet, selon les cours d'eau et leur concentration en calcium, les tailles des statolithes apparaissent diverses ainsi que leur « lisibilité » (Barker et al., 1997). Dans le cas des statolithes des migrants adultes, l'exigence d'une validité de lecture est impossible à remplir en dehors d'un programme de marquage des juvéniles dévalants mené à l'échelle européenne (Figure 39).

6.4. Les adultes migrants

La variabilité des caractéristiques morphologiques des lamproies marines (taille, poids, sexe-ratio) apparaît grande entre les bassins et très faible au niveau interannuel. Les représentants des deux sexes sont très homogènes en terme de taille et semblent également l'être en terme d'âge. Le rapport gonado-somatique moyen observé chez les femelles augmente régulièrement au cours de l'avancement dans la saison, reflet d'une maturité qui progresse au sein de chaque vague de migrants.

Sur l'ensemble de la saison, le sexe-ratio parmi les migrants pêchés est proche de 1:1. Il apparaît légèrement en faveur des mâles en début de saison. Des taux relativement proche de 1:1 ont été constatés par Ducasse et Leprince (1980) avec un sexe-ratio de 0.93:1 pour des lamproies capturées au filet en Dordogne et de 1.25:1 pour celles capturées aux bourgues sur l'Isle, affluent de la Dordogne.

En ce qui concerne la longueur et le poids, ces mêmes auteurs ont trouvé des valeurs moyennes de 830 mm et de 1.1 kg, ce qui ne diffère guère des valeurs constatées au cours de nos travaux (2003 et 2004 : 836 mm et 1.118 kg). Ils rapportent que les pêcheurs considèrent que les lamproies de Garonne sont plus petites que celle de Dordogne, ce que confirme nos résultats. Ces auteurs n'avaient pas observé de différence significative de taille entre les sexes capturés, ce que nous constatons également. Sur l'Adour, les tailles moyennes et les poids moyens sont très proches de ceux enregistrés sur le bassin de la Gironde puisqu'en 1989, ils étaient de 811 mm pour 1.07 kg (Prouzet et al. 1990) et en 1991 de 832 mm et 1.15 kg (Prouzet et al. ,1992) [Prouzet, 1992].

Sabatié (1998) sur le Scorff (France) observe au niveau des zones de frayère, pour une population non exploitée un sexe-ratio légèrement en faveur des femelles (0.91:1) et une taille moyenne des individus de l'ordre de 730 mm soit 90 à 100 mm de moins que nos observations. Le poids moyen des individus est également plus faible avec 0.850 kg pour les mâles et 0.981 kg pour les femelles. Sabatié (1998) a montré que les femelles, à taille comparable, sont plus grosses que les mâles, ce qui est aussi le cas dans le bassin de la Gironde.

Stier et Kynard (1986) sur la rivière Connecticut (Etats-Unis) constatent des sexe-ratio en faveur des mâles (1.3:1 en 1981 et 1.6:1 en 1982) et une augmentation de la proportion de mâles au cours d'une saison. Ils n'observent aucune différence mâles – femelles en ce qui concerne les tailles, les poids et les pentes des régressions taille-poids.

Les estimations de l'âge tentées montreraient pour *P. marinus* une étendue de durée de vie de 5 à 8 ans et une moyenne proche de 6 ans. Dans le cas de *L. fluviatilis*, l'étendue de vie en mer pourrait être de 5 à 25 mois, soit moins de 1 an à 2 ans. La durée de vie totale serait de 3 à 6 ans avec une moyenne de 4 - 5 ans. Ces longévités seraient plus courtes que celles proposées par ailleurs, avec respectivement 9 à 11 ans pour *P. marinus* (Holcik 1986) et 7 ans (Hardisty et Potter 1971; Hardisty et Potter 1971) pour *L. fluviatilis*.

L'âge d'eau douce moyen obtenu avec les statolithes d'adultes s'avère relativement faible avec 2 à 3 hivers pour *L. fluviatilis* et 3 à 4 hivers pour *P. marinus*. Dans le cas de cette dernière espèce, il a déjà été constaté qu'une vie larvaire très courte (2 ans) peut survenir (Morkert et al., 1998). Elle peut être liée à une température de l'eau plus chaude et un milieu à haute productivité primaire induisant un coefficient de condition de la larve élevé (Youson et al., 1993). Au Portugal, dans la rivière Mondego, une vie larvaire courte (environ 4 ans) a aussi été constatée dans ce bassin versant aménagé et riche en nutriments (Quintella et al., 2003).

7

Conclusion

♣ En ce qui concerne les habitats zones de grossissement des larves

Les deux genres *Lampetra* et *Petromyzon* sont susceptibles de coloniser tous les macrohabitats de type lentique ainsi que certains de type plus lotique, les haut-fonds comme les eaux profondes, à condition qu'ils puissent y trouver des ambiances et des microhabitats particuliers. Les larves se localisent dans des zones soit en contre-courant (berge, encoche, eaux marginales) soit à faible vitesse de courant près du fond (banc, mouille). Les substrats sablonneux (sables fins à grossiers) présentant de la matière organique expliquent le mieux la densité et la distribution des larves dans leurs habitats préférentiels. Les plus grandes concentrations en larves (2.57 ind.m^{-2}) correspondent à des sites aux fonds meubles, contenant fréquemment des débris organiques non décomposés (petites branches, amas de feuilles). Dans les sections des grands cours d'eau à fond plus dur, la présence d'herbiers aquatiques peuvent contribuer à augmenter notablement les habitats des jeunes larves, particulièrement en aval de zones de frayère, grâce aux floculats qu'ils abritent. Ce travail permet l'introduction au potentiel d'accueil des cours d'eau vis à vis des larves de lamproies, notion nécessaire dans une bonne gestion des populations. Afin de mieux pondérer l'importance des habitats larvaires, il reste à établir et à valider la méthode qui relie le mieux l'abondance des larves avec une cartographie basée sur une typologie de l'habitat capable d'intégrer les variables du milieu les plus explicatives.

♣ En ce qui concerne le cas du genre *Lampetra*

Ce travail révèle aussi que *L. planeri* et *L. fluviatilis* n'apparaissent pas comme deux espèces mais comme des morphotypes de la même espèce. Elle confirme les doutes émis par Schreiber et Engelhorn (1998) pour le bassin du Danube. Il s'agit donc plutôt de deux formes écologiques sympatriques⁷, l'une migratrice (*L. fluviatilis*) et l'autre sédentaire (*L. planeri*) non distinctes génétiquement, au moins dans le secteur étudié ici, soit la partie basse du bassin Gironde Garonne Dordogne. Dans le cadre d'une meilleure connaissance du stock *Lampetra fluviatilis*, il reste à vérifier si, d'une part, ce complexe « *plano fluviatilis* » existe aussi dans les parties hautes des bassins de la Garonne et de la Dordogne, et, d'autre part, si, les populations des deux écotypes *fluviatilis* et *planeri* sont reproductivement isolées ou non.

Cependant, quelle que soit la réponse à ces interrogations, des mesures de gestion en faveur de l'écotype *fluviatilis* s'avèrent prioritaires puisqu'il s'agit d'un écotype classé comme proche d'être menacé (liste rouge IUCN, 1994) ce qui n'est pas le cas de *P. marinus*. Outre leur statut d'« espèces prioritaires » (Directive 92/43/CEE) ces deux lamproies migratrices présentent aussi un intérêt halieutique. Dans la tranche II de notre travail nous avons déjà souligné l'intérêt de soutenir la population *L. fluviatilis* par une reconquête des affluents les plus stables sur un plan hydrodynamique car susceptibles d'offrir des zones de frayère plus efficaces pour la survie des œufs et des larves. Les tributaires situés en partie basse du bassin Gironde Garonne Dordogne sont plus accessibles à cette espèce qui réalise des migrations de moyenne amplitude. La présence de la forme sédentaire *planeri* pourrait être avec le potentiel en habitats (zones de grossissement et zones de frayère) un des critères de sélection des

⁷ qui habitent ensemble dans la même aire géographique

tributaires sur lesquels il conviendrait de ré-ouvrir l'accès (aménagement d'obstacles) à la forme migratrice *fluviatilis*.

♣ En ce qui concerne la tentative de détermination de l'âge individuel à partir des statolithes

Depuis l'écophase larvaire jusqu'à celle adulte, les statolithes sont des pièces très variables en terme de qualité d'inscription des marques saisonnières. Ce phénomène entraîne entre lecteurs un niveau d'accord faible qui laisse un doute sur la fiabilité de l'affectation d'un âge individuel. Malgré cela, la présence d'une marque de transition entre les stades non parasite et parasite, dite de métamorphose, a été avancée. Ce repère est potentiellement intéressant dans la lecture d'âge chez les adultes. Des analyses microchimiques faites sur la base d'un échantillon de statolithes non représentatif montrent un pic du rapport Strontium / Calcium . De façon à mieux explorer la relation qui lie les statolithes à la physiologie, des validations expérimentales sur des échantillons de grande tailles de larves et de juvéniles de lamproies sont à envisager.

♣ En ce qui concerne les caractéristiques des individus migrants

Au sein du bassin de la Gironde, la migration des adultes de la lamproie marine se produit par vagues. Le début de saison voit l'arrivée d'individus les plus grands en taille et les plus gros en poids ainsi qu'une proportion légèrement supérieure en faveur des mâles. Les lamproies marines qui choisissent de remonter dans la Dordogne ont une taille et un poids en moyenne plus importants par rapport à celles de la Garonne. Mâles ou femelles, les migrants adultes de cette espèce seraient en moyenne âgés de 6 ans. Les individus *L. fluviatilis* se situeraient autour de 4 à 5 ans.

♣ Plus généralement

Des informations sur les mécanismes initiant les migrations et les comportements à la fois des larves, des juvéniles et des adultes apparaissent nécessaires. Les études récentes menées aux Etats-Unis ont permis de valider l'absence de homing chez *P. marinus* (Bergstedt et Seelye, 1995). Il s'agit là d'une piste de réflexion sur les mélanges potentiels qui peuvent avoir lieu entre les différentes populations de la façade atlantique, au moins au niveau de cette espèce. Aucune étude sur le homing n'existe pour *Lampetra fluviatilis*.

Les larves ont un pouvoir attractant vis à vis des adultes migrants. Ainsi, les bassins versants, selon leur niveau de concentrations en larves, sont susceptibles d'être plus ou moins colonisés par les géniteurs. Dans un souci de gestion des stocks, ce point vient renforcer l'intérêt de préserver et de restaurer les habitats larvaires.

Remerciements

Sont remerciés au titre de la caractérisation des habitats larvaires : M. Mignot membre de la Commission FFEISSM IDF Archéologie pour ses conseils dans le montage de la suceuse à eau, les gardes pêche des Brigades Départementales du Conseil Supérieur de la Pêche de la Gironde, de la Dordogne et du Lot, la BMI du CSP 33 qui ont participé avec enthousiasme et bonne humeur aux relevés terrain, le GEH Dordogne pour les conventions passées afin de se prémunir des risques dus aux fonctionnements des ouvrages EDF, M. Chagnaud pour son aide de relai en tant qu'observateur terrain sur la Dronne, le SIAH de la Dronne qui en concertation avec l'AAPPMA « l'Amicale des pêcheurs à la ligne de Coutras » se sont adaptés aux exigences induites par nos échantillonnages, les AAPPMA gestionnaires des autres tronçons de cours d'eau échantillonnés à savoir pour la Dordogne « le Canton de la Force », « la Gaule Bergeracoise », pour les rivières Cère « la Gaule de la Cère », Dronne « l'Union des pêcheurs Guitrauds », et Livenne « le Goujon Saint-Aubinois », M. Bernard du Cemagref d'Aix en Provence pour les analyses granulométriques et M. Lobry du Cemagref pour les analyses factorielles.

Sont également remerciés au titre de la caractérisation des adultes migrants : l'AAPPED 33, les pêcheurs professionnels avec plus particulièrement Mr et Mme Durand, Mrs Beaucaillou, Mesure et Laheurte ainsi que Mr et Mme Dufour de la conserverie Gidorland.

Bibliographie

- Abakumov V.A., 1960. Systematics and ecology of the Far Eastern brook lamprey from the Amur Basin. Vop. Ikhtiol 15, 43-54.
- Almeida P.R., Quintella B.R., 2002. Larval habitat of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the river Mondego (Portugal). In M.J. Collares-Pereira, M.M. Coelho & I.G. Cowx (eds). Freshwater Fish Conservation : options for the future. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford : 121-130.
- Anderson A.A., 1988. Habitat selection of the Northern brook lamprey (*Ichthyomyzon fossor*) and the American brook lamprey (*Lampetra appendix*) ammocoetes in a Northeastern Ohio stream. Thesis, Graduate School of John Carroll University, 71 p.
- Anonyme, 1982. Etude hydrobiologique de la Dordogne. Rapport QEBX, Cemagref, 65p.
- Applegate V.C., 1950. Natural history of the sea lamprey *Petromyzon marinus* in Michigan. Special scientific report - U.S. Fish and Wildlife Service, n°55, 178 p + annexes.
- Arai T., Otake T., Tsukamoto K., 1997. Drastic changes in otolith microstructure and microchemistry accompanying the onset of metamorphosis in the Japanese eel *Anguilla japonica*. Mar. Ecol Prog Ser, 161, 17-22.
- Baglinière J.L., Maise G., 2002. La biologie de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans la rivière Scorff, Bretagne : une synthèse des études de 1972 à 1997. INRA Prod. Anim., 15 (5), 319-331.
- Barker L.A., Morrison B.J., Wicks B.J., Beamish F.W.H., 1997. Age determination and statolith diversity in sea lamprey from streams with varying alkalinity. Trans. Am. Fish. Soc., 126, 1021-1026.
- Baxter E.W., 1957. Lamprey distribution in streams and rivers. Nature, 23, 1145.

- Beamish F.W.H., Jebbink J., 1994. Abundance of lamprey larvae and physical habitat. *Environ. Biol. Fishes*, 39, 209-214.
- Beamish F.W.H., Lowartz S., 1996. Larval habitat of american brook lamprey. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53 : 693-700.
- Beamish F.W.H., Medland T.E., 1988. Age determination for lampreys. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 117, 63-71.
- Beamish R.J., 1980. Adult biology of the river lamprey (*Lampetra ayresi*) and the Pacific lamprey (*Lampetra tridentata*) from the Pacific coast of Canada. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 37 (11), 1906-1923
- Bergstedt R.A., Genovese J.h., 1994. New technique for sampling sea lamprey larvae in deepwater habitats. *North American Journal of Fisheries Management*, 14, 449-452.
- Bergstedt R.A., Seelye J.G., 1995. Evidence for lack of homing by sea lampreys. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 124, 235-239.
- Bergstedt R.A., Swink W.D., 1995. Seasonal growth and duration of the parasitic life stage of the landlocked sea lamprey (*Petromyzon marinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 1257-1264.
- Bird D.J., Potter I.C., 1979. Metamorphosis in the paired lampreys, *Lampetra fluviatilis* (L.) and *Lampetra planeri* (Bloch). 1. description of the timing and stages. *Zool. J. Linn. Soc.*, 65, 127-143.
- Bjerselius R., Weiming L., Teeter J.H., Seelye J.G., Johnsen P.B., Maniak P.J., Grant G.C., Polkinghorne C.N., Sorensen P.W., 2000. Direct behavioral evidence that unique bile acids released by larval sea lamprey (*Petromyzon marinus*) function as a migratory pheromone. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 57, 557-569.
- Bolduc, T G., Sower S A., 1992. Changes in brain gonadotropin-releasing hormone, plasma estradiol 17-beta, and progesterone during the final reproductive cycle of the female sea lamprey, *Petromyzon marinus*, *The Journal Of Experimental Zoology*, 264 (1) 55-63.
- Carlstrom D., 1963. A crystallographic study of vertebrate otoliths. *Biol. Bull.* 125, 441-463.
- Castelnaud G., 2000. Localisation de la pêche, effectifs de pêcheurs et production des espèces amphihalines dans les fleuves français. *Bulletin français de pêche et pisciculture*, 357/358, 439-460.
- Castelnaud G., Babin D., 1992. La pêche professionnelle fluviale et lacustre en France – Enquête au fil de l’eau. « Etudes du Cemagref », série Ressources en eau n°5, 291p.
- Cemagref, 1982. Etude de surveillance halieutique de l’estuaire de la Gironde 1979-1980 ; Cemagref/Division A.L.A./ E.D.F., rapport final, 91p.
- Chang N.Y.B., 1982. A statistical method for evaluating the reproductibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 1208-1210.
- Davis R.M., 1967. Parasitism by newly-transformed anadromous sea lampreys on landlocked salmon and other fishes in a coastal Maine lake. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 96, 11-16.
- Dendy J.S., Scott D.C., 1953. Distribution, life history and morphological variations of the southern Brook lamprey, *Ichthyomyzon gagei*. *Copeia* 1953, 152-162.
- De Pontual H., Lagardère F., Amara R., Bohn M., Ogor A., 2003. Influence of ontogenetic and environmental changes in the otolith microchemistry of juvenile sole (*Solea solea* *Journal of Sea Research*, Volume 50, Issues 2-3, Pages 85-272 (November 2003) *Proceedings of the Fifth International Symposium on Flatfish Ecology, Part I*.

- Dieckmann U.; Doebeli M., 1999. On the origin of species by sympatric speciation. *Nature*, 400 (6742) 354-357.
- Ducasse J., Leprince Y., 1980. Etude préliminaire de la biologie des lamproies dans les bassins de la Garonne et de la Dordogne. Rapport CTGREF - E.N.I.T.E.F., 151p.
- Eneqvist P., 1937. Das Bachneunauge als ökologische modifikation des Flussneunauges. Über die Fluss und Bachneunaugen Schwedens. *Arkiv Zoology*, 29, 1-29.
- Fahien C.M., Sower S.A., 1990. Relationship between brain gonadotropin-releasing hormone and final reproductive period of the adult male sea lamprey, *Petromyzon marinus*. *General and Comparative Endocrinology*, 80 (3) 427-437.
- Fodale M.F., Bronte C.R., Bergstedt R.A., Cuddy D.W., Adams J.V., 2003. Classification of lentic habitat for sea lamprey (*Petromyzon marinus*) larvae using a remote seabed classification device. *Journal of Great Lakes Research*, 29 (1) 190-203.
- Genina N., Eric V., 1958. Some biological aspects in river lampreys and methods of its artificial spawning. *Gidrobiol. Issl.*, 1, 270-279.
- Guyomard, R., 1991. Diversité génétique et gestion des populations naturelles de truite commune. La truite biologie et écologie. B. J. L. M. G. Paris, INRA: 215-235.
- Halliday R.G., 1991. Marine distribution of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the northwest atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48, 832-842.
- Hardisty M.W., 1944. The life history and growth of the brook lamprey (*Lampetra planeri*). *J. Anim. Ecol.*, 13, 110-122.
- Hardisty M.W., 1961. The growth of larval lampreys. *J. An. Ecol.*, 30, 357-371.
- Hardisty M.W., 1961. Oocyte numbers as a diagnostic character for the identification of ammocoete species. *Nature*, London 191, 1215-1216.
- Hardisty M.W., 1963. Fecundity and speciation in lampreys. *Evolution*, 17, 17-22.
- Hardisty M.W., 1971. Gonadogenesis, sex differentiation and gametogenesis. In "The biology of lampreys", M. W. Hardisty and I. C. Potter (eds). Academic Press London, NY, 295-359.
- Hardisty M.W., 1986. General introduction to lampreys. In *The Fresh water Fishes of Europe, Vol. 1/I Petromyzontidae* (Holcik, J., ed.) Wiesbaden : Aula Verlag. , pp. 19-83.
- Hardisty M.W., 1986. *Lampetra planeri* (Bloch, 1784). In *The Fresh water Fishes of Europe, Vol. 1/I Petromyzontidae* (Holcik, J., ed.) Wiesbaden : Aula Verlag. , pp. 279-304.
- Hardisty M.W., Huggins R.J., 1970. Larval growth in the river lamprey, *Lampetra fluviatilis*. *J. Zool., Lond.*, 161, 549-559.
- Hardisty M.W., Potter I.C., 1971c. The general biology of adult lampreys. In "The biology of lampreys", M.W. Hardisty and I.C. Potter (eds), Academic Press London, New York, 127-206.
- Hardisty M.W., Potter I.C., 1971d. Paired species. In "The biology of lampreys", M.W. Hardisty and I.C. Potter (eds), Acad. Press Lond., NY, 249-277.
- Hardisty M.W., Potter I.C., Sturge R., 1970. A comparison of the metamorphosing and macrophthalmia stages of the lampreys *Lampetra fluviatilis* and *Lampetra planeri*. *J. Zool., Lond.*, 162, 383-400.

Harvey J., Cowx I., 2003. Monitoring the river, brook and sea lamprey, *Lampetra fluviatilis*, *L. planeri* and *Petromyzon marinus*. Conserving Natura 2000 Rivers Monitoring Series n°5. English Nature, Peterborough, 32p.

Haury J., Baglinière J.L., 1996. Les macrophytes, facteur structurant de l'habitat piscicole en rivière à salmonidés. Etude de microrépartition sur un secteur végétalisé du Scorff (Bretagne-Sud). *Cybium*, 20, 111-127.

Holcik J., 1986. The freshwater fishes of Europe - Petromyzontiformes. Vol. 1, Part I. Aula-Verlag Wiesbaden eds, 313p.

Huntington C.W., 1985. Deshutes river spawning gravel study. Vol I. Final Report – Buell & Associates Inc., Beaverton, OR / US. Department of Energy Bonneville power administration Division of Fish & Wildlife, 179p.

Kainua K., Valtonen T., 1980. Distribution and abundance of european river lamprey (*Lampetra fluviatilis*) larvae in three rivers running into Bothnian Bay, Finland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37(11), 1960-1966.

Kelso J.R.M. & Todd P.R., 1993. Instream size segregation and density of *Geotria australis* ammocoetes in two New Zealand streams. *Ecology of Freshwater Fish* 2 : 108-115

Klar & Weise, 1994. Sea lamprey – The state of lake superior in 1992. Ed. M.J. Hansen pp77-86, Great Lakes Fishery Commission Special Publication 94.1, Ann Arbor, MI

Lee D.S., 1989. Proximate determinants of larval lamprey habitat selection. Ph D. thesis, Michigan State University, East Lansing, Mich., 155 p.

Li W., Sorensen P.W., Gallaher D.D., 1995. The olfactory system of migratory adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*) is specifically and acutely sensitive to unique bile acids released by conspecific larvae. *J. Gen. Physiol.*, 105, 569-587.

Maeva E., Bruno I., Zielinski B.S., Docker M.F., Severin F.M., Maev R.G., 2004 The use of pulse-echo acoustic microscopy to non-invasively determine the sex of living larval sea lampreys. *Journal of Fish Biology*, Volume 65, Issue 1, 2004, Pages 148-156.

Maitland P.S., 2003. Ecology of the river, brook and sea lamprey. Conserving Natura 2000 Rivers Conservation Techniques Series N°5. English Nature, Peterborough, 52p.

Malavoi J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 315, 189-210.

Malavoi J.R., Souchon Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 365/366, 357-372.

Malmqvist B., 1980. Habitat selection of larval brook lampreys (*Lampetra planeri*, Bloch) in a South Swedish stream. *Oecologia*, 45, 35-38.

Manion P.J., Mc Lain N A.L., 1971. Biology of larval sea lampreys (*Petromyzon marinus*) of the 1960 year class, isolated in the Big Garlic River, Michigan, 1960-65. G.L.F.C. Technical Report, 16, 1-35.

Manion P.J., Smith B.R., 1978. Biology of larval and metamorphosing sea lampreys (*Petromyzon marinus*) of the 1960 year class in the Big Garlic River, Michigan, part II, 1966-72. Great Lakes Fishery Commission Technical Report 30.

Mayr E., 1996. What is a species and what is not ?. *Philosophy of Science*, 63, 262-277.

- Medland T.E., Beamish F.W.H., 1987. Age validation for the mountain brook lamprey, *Ichthyomyzon greeleyi*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 44, 901-904.
- Medland T.E., Beamish F.W.H., 1991. Lamprey statolith banding patterns in response to temperature, photoperiod and ontogeny. Trans. Am. Fish. Soc., 120, 255-260.
- Morkert S.B., Swink W.D., Seelye J.G., 1998. Evidence for early metamorphosis of sea lampreys in the Chippewa River, Michigan. North American Journal of Fisheries Management, 18, 966-971.
- Ombredane D., Baglinière J-L., Marchand F., 1998. The effects of Passive Integrated Transponder tags on survival and growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) and their use for studying movement in a small river. Hydrobiologia, 371-372, 99-106
- Ombredane D., Siegler L., Baglinière J.L., Prunet P., 1996. Migration et smoltification des juvéniles de truite (*Salmo trutta*) dans les cours d'eau de Basse Normandie. Cybium, 20 (suppl) 27-42.
- Pajos T.A., Weise J.G., 1994. Estimating populations of larval sea lamprey with electrofishing sampling methods. North American Journal of Fisheries Management, 14, 580-587.
- Panfili, H., De Pontual H., Troadec H., Wright P.J., 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. IRD Editions, 2002, 463p.
- Piavis G.W., 1971. Embryology. In "The biology of lampreys", M.W. Hardisty and I.C. Potter (eds), Academic Press London, NY, 361-400.
- Polkinghorne C.N., Olson J.M., Gallaher D.G., Sorensen P.W., 2001. Larval sea lamprey release two unique bile acids to the water at a rate sufficient to produce detectable riverine pheromone plumes. Fish Physiology and biochemistry, 24, 15-30.
- Potter I.C., 1970. The life cycles and ecology of Australian lampreys of the genus *Mordacia*. J. Zool. Lond., 161, 487-511.
- Potter I.C., 1980. The Petromyzoniformes with particular reference to paired species. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37, 1595-1615.
- Potter I.C., Beamish F.W.H., 1977. The freshwater biology of adult anadromous sea lampreys, *Petromyzon marinus*. J.Zool., Lond., 181, 113-130.
- Potter I.C., Osborne T.S., 1975. The systematics of British larval lampreys. J. Zool., Lond., 176, 311-329.
- Prouzet, P., Martinet J. P., Luro C., Cuende F.X., 1990. Rapport sur la pêche des marins pêcheurs dans l'estuaire de l'Adour en 1989. St-Pée sur Nivelle, IFREMER.
- Prouzet, P., J. P. Martinet, Luro C. Cuende F.X., 1992. Rapport sur la pêche des marins pêcheurs dans l'estuaire de l'Adour en 1991. St-Pée sur Nivelle, IFREMER.
- Quintella B.R., Andrade N.O., Almeida P.R., 2003. Distribution, larval stage duration and growth of the sea lamprey ammocoetes, *Petromyzon marinus* L., in a highly modified river basin. Ecology of Freshwater Fish, 2 (4) 286-293.
- Quintella B. R., Andrade N. O., Espanhol R., Almeida P. R., 2005. The use of PIT telemetry to study movements of ammocoetes and metamorphosing sea lampreys in river beds. Journal of Fish Biology, 66 (1) 97-106.

Sabatié M-R., 1998. Eléments d'écologie de la lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) dans une rivière bretonne : le Scorff. Rapport final de la convention Région Bretagne n° 12172/95 du 23.10.1995, 54 p.

Salewski V., 2003. Satellite species in lampreys : a worldwide trend for ecological speciation in sympatry ?. *Journal of Fish Biology*, 63, 267-279.

SAS, 2000. SAS OnlineDoc®, Version 8, SAS Institute Inc.

Schreiber A., Engelhorn R., 1998. Population genetics of a cyclostome species pair, river lamprey (*Lampetra fluviatilis* L.) and brook lamprey (*Lampetra planeri* Bloch). *J. Zool. Syst. Evol. Research*, 36, 85-99.

Schroll F., 1959. Zur Ernährungsbiologie der steirischen ammocöten *Lampetra planeri* (Bloch) und *Eudontomyzon danfordi* (Regan). *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. Hydrogr.*, 44, 395-429.

Slade J.W., Adams J.V., Christie G.C., Cuddy D.W., Fodale M.F., Heinrich J.W., Quinlan H.R., Weise J.G., Weisser J.W., Young R.J., 2003a. Techniques and methods for estimating abundance of larval and metamorphosed sea lampreys in Great Lakes tributaries, 1995 to 2001. *Journal of Great Lakes Research* Volume 29 Supplement 1 , Pages 137-151.

Slade J.W., Adams J.V., Cuddy D.W., Neave F.B., Sullivan W.P., Young R.J., Fodale M.F., Jones M.L., 2003b. Relative contributions of sampling effort, measuring, and weighing to precision of larval sea lamprey biomass estimates *Journal of Great Lakes Research* Volume 29 Supplement 1 , 2003, Pages 130-136

Sower S.A. 1989, Effects of lamprey gonadotropin-releasing hormone and analogs on steroidogenesis and spermiation in male sea lampreys. *Fish Physiology and Biochemistry*, 7 (1-4) 101-107.

Steeves T.B., Slade J.W., Fodale M.F., Cuddy D.W., Jones M.L., 2003. Effectiveness of using backpack electrofishing gear for collecting sea lamprey (*Petromyzon marinus*) larvae in Great Lakes tributaries. *Journal of Great Lakes Research* Volume 29 Supplement 1 , 2003, Pages 161-173.

Stier K. and Kynard B B., 1986a. Abundance, size and sex ratio of adult sea-run sea lampreys, *Petromyzon marinus*, in the Connecticut river. *Fish. Bull.*, 84(2), 476-480.

Sugiyama H., Goto A., 2002. Habitat selection by larvae of a fluvial lamprey *Lethenteron reissneri* in a small stream and an experimental aquarium. *Ichthyological Research*, 49 (1) 62-68

Swink W.D., 1993. Effect of water temperature on sea lamprey growth and lake trout survival. *Trans. Am. Fish. Society*, 122, 1161-1166.

Taverny C., Urdaci M., 2003. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Première tranche fonctionnelle. Cestas, Cemagref Bordeaux : 53p.

Taverny C., Beaulaton L., Castelnaud G., 2003. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Deuxième tranche fonctionnelle. Cestas, Cemagref Bordeaux : 22p.

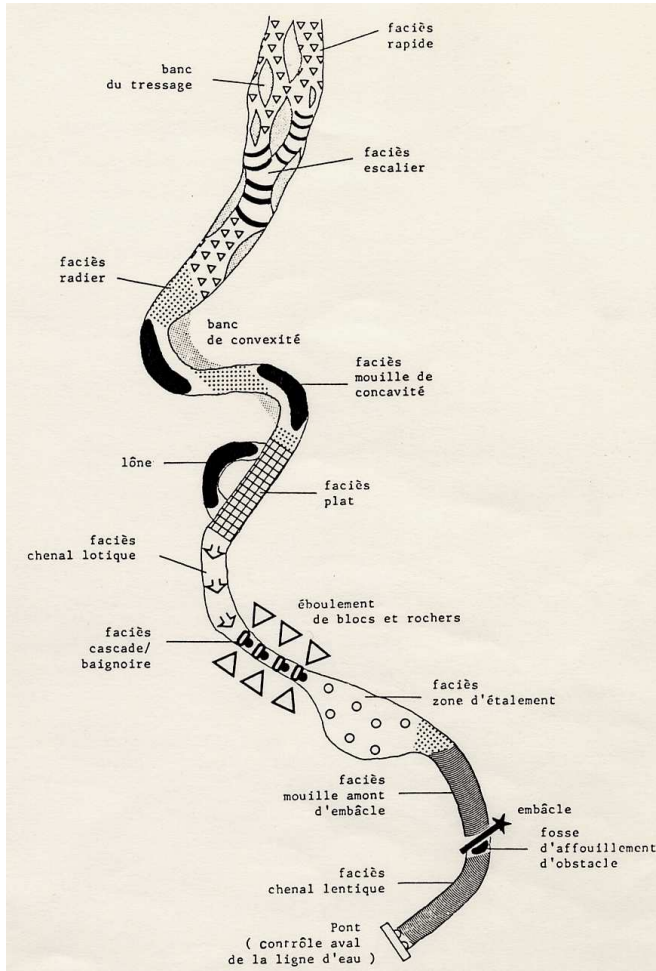
Taverny C., 2004. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Deuxième tranche fonctionnelle. Cestas, Cemagref Bordeaux : 8p.

Taverny C., Urdaci M., Elie P., 2004. Biologie, écologie et pêche des lamproies migratrices (Agnathes amphihalins) - Deuxième tranche fonctionnelle. Cestas, Cemagref Bordeaux : 49.

- Torgersen C.E., Close D.A., 2004. Influence of habitat heterogeneity on the distribution of larval Pacific lamprey (*Lampetra tridentata*) at two spatial scales. *Freshwater Biology* 49: 6, 614-630.
- Vladykov V.D., Kott E., 1979. Satellite species among the holarctic lampreys (Petromyzonidae). *Can. J. Zool.*, 57, 860-867.
- Volk E.C., 1986. Use of calcareous otic elements (statoliths) to determine age of sea lamprey ammocoetes (*Petromyzon marinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 718-722.
- Wajgel L., 1883. Die Zusammenziehung der zwei arten von petromyzon (*P. planeri* und *P. fluviatilis*) in eine. *Verhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft zu wien* 33, 311-320.
- Wigley, R. L. 1959. "Life history of the sea lamprey of Cayuga Lake, New-York." *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service* 59: 559-617.
- Yamazaki Y., Nagai T., Iwata A., Goto A., 2001. Histological comparisons of intestines in parasitic and non-parasitic lampreys, with reference to the speciation hypothesis. *Zoological Science*, 18, 1129-1135.
- Yap M.R., Bowen S.H. , 2003. Feeding by northern brook lamprey (*Ichthyomyzon fossor*) on sestonic biofilm fragments: Habitat selection results in ingestion of a higher quality diet. *Journal of Great Lakes Research* , Volume 29 (1) , Pages 15-25.
- Young R.J., Kelso R.M., Weise J.G., 1990. Occurrence, relative abundance, and size of landlocked sea lamprey (*Petromyzon marinus*) ammocoetes in relation to stream characteristics in the Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47,1773-1778.
- Youson J.H., Holmes J.A., Guchardi J.A., Seelye J.G., Beaver R.E., Gersmehl J.E., Sower S.A. and Beamish F.W.H., 1993. Importance of condition factor and the influence of water temperature and photoperiod on metamorphosis of sea lamprey, *Petromyzon marinus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 50, 2448-2051.
- Youson J.H., Sower S.A., 2001. Theory on the evolutionary history of lamprey metamorphosis : role of reproductive and thyroid axes. *Comparative Biochemistry and Physiology B*, 129, 337-345.
- Zanandrea G., 1959. Speciation among lampreys. *Nature*, 184, 380.
- Zanandrea G.S.J., 1961. Studies on european lampreys. *Evol.*, 15, 523-534.
- Zaugg W.S., 1982. A simplified preparation for adenosine triphosphate determination in gill tissue. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, 215-217.

ANNEXES

Annexe 1



Exemple de distribution spatiale des types de faciès (Malavoi, 1989)

PROFONDEUR	VITESSE	PROFIL EN TRAVERS	PROFIL EN LONG	FACIÈS
> 60 cm	< 30 cm/s	symétrique	souvent en amont d'un obstacle ou d'un faciès de type radier ou rapide	CHENAL LENTIQUE
	> 30 cm/s	asymétrique	en pied de cascade ou de chute	FOSSE DE DISSIPATION
	> 30 cm/s	symétrique	généralement dans une concavité de méandre	MOUILLE DE CONCAVITE
< 60 cm	> 30 cm/s	symétrique	le long d'un obstacle à l'écoulement : embâcle, pile de pont, rocher	FOSSE D'AFFOUILLEMENT
	< 30 cm/s	symétrique	pas de situation particulière	CHENAL LOTIQUE
	< 30 cm/s	symétrique	souvent en amont d'un obstacle ou d'un faciès de type radier ou rapide	PLAT LENTIQUE
< 60 cm	< 30 cm/s	symétrique	pente douce, écoulement uniforme, vagues à la surface de l'eau liées à la présence du substrat à proximité de la surface libre. Rugosité relative $HSS0 \sim 3 \text{ à } 4$ (H = hauteur d'eau, $S50$ = petit axe du D50, diamètre médian du substrat)	PLAT COURANT
	> 30 cm/s	symétrique	pente plus forte, rupture de pente plus nette avec les faciès limitrophes. Turbulence plus forte liée à l'affouillement du substrat au ras de la surface libre. Rugosité relative $HSS0 \sim 2 \text{ à } 3$	RADIER
	> 30 cm/s	symétrique	pente très forte, forte turbulence matérialisée par de l'écume blanche. $HSS0 \sim 1,2 \text{ à } 2$	RAPIDE
	> 30 cm/s	symétrique	pente très forte, dénivellation entre l'amont et l'aval $> 0,5$ et $< 1,5$ m	CASCADE
			dénivellation $> 1,5$ m	CHUTE

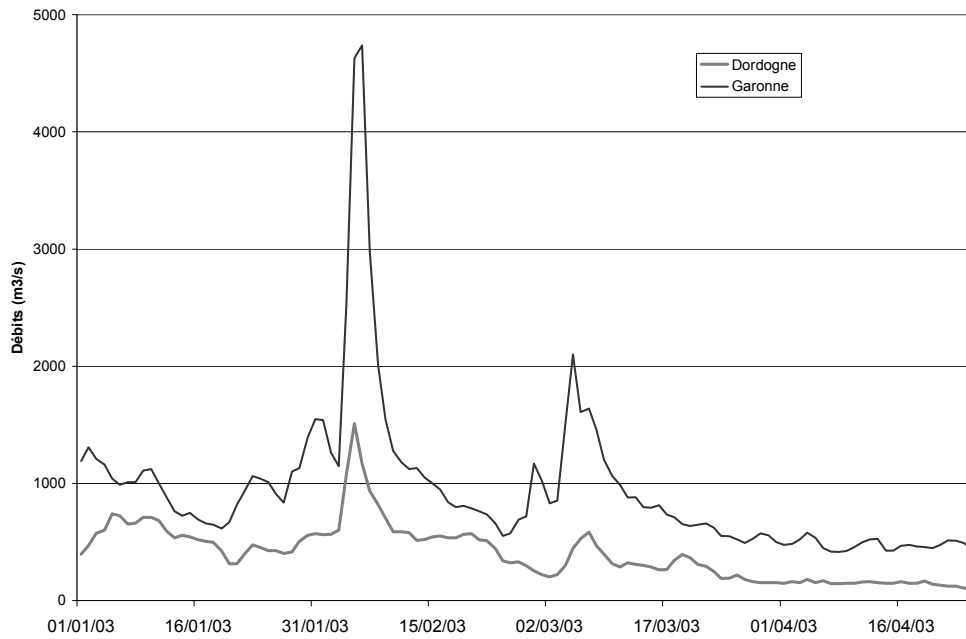
Clé de détermination des faciès d'écoulement (Malavoi et Souchon, 2002)

Annexe 2

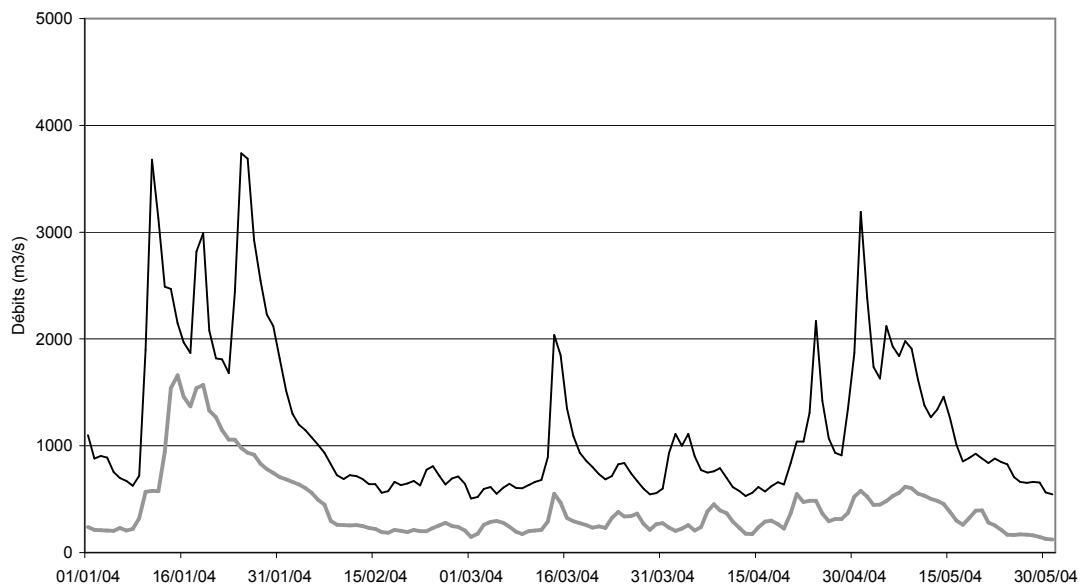
Caractéristiques techniques de la suceuse à eau utilisée (L. : longueur - D_{ext} : diamètre externe - D_{int} : diamètre interne)

Pièces	Fig. 1	Capacités Dimensions	Observations
Suceuse : · Bouche	1a	Gaine Vacuflex D _{ext} 200mm - L. 150cm	Un morceau de tuyau en pvc rigide D _{ext} 120 mm peut être emboîtée sur le bout du tuyau gaine
· Tête	1b	Tuyau pvc en T -	Des rebords en pvc peuvent être collés aux extrémités afin d'éviter le glissement des colliers de serrage
· Corps	1c	Tuyau pvc en D _{ext} 100mm - L. 130 cm	
Manchon de raccord du tuyau de refoulement de la pompe au T de la suceuse	2	Tuyau pvc en D _{int} 33mm - L. 30 cm Tuyau pvc en D _{ext} 100mm - L. 16 cm	Le tuyau PVC en D _{int} 33 est fixé dans le tuyau PVC en D _{ext} 100 grâce à de la mousse expansive
Filet sac de récupération	3	2 m de long Circonférence : 90 cm	Le cul est fermé par une corde
Motopompe	4	36 m ³ /h	Le débit annoncé par le constructeur est en général sur-estimé - il dépend du diamètre nominal de la tuyauterie utilisée
Tuyau d'aspiration	5	Tuyau universel à spirales D _{int} 40mm - L. 5 m	Souple et gainé Rallonge possible pour de plus grandes profondeurs
Tuyau de refoulement	6	Tuyau universel à spirales D _{int} 40mm - L. 10 m	Débit maximum imposé : 10 m ³ /h.
Crépine à clapet Copoflash	7	anti-retour	Evite d'avoir à amorcer le pompage après chaque arrêt de la motopompe

Annexe 3



2003



2004

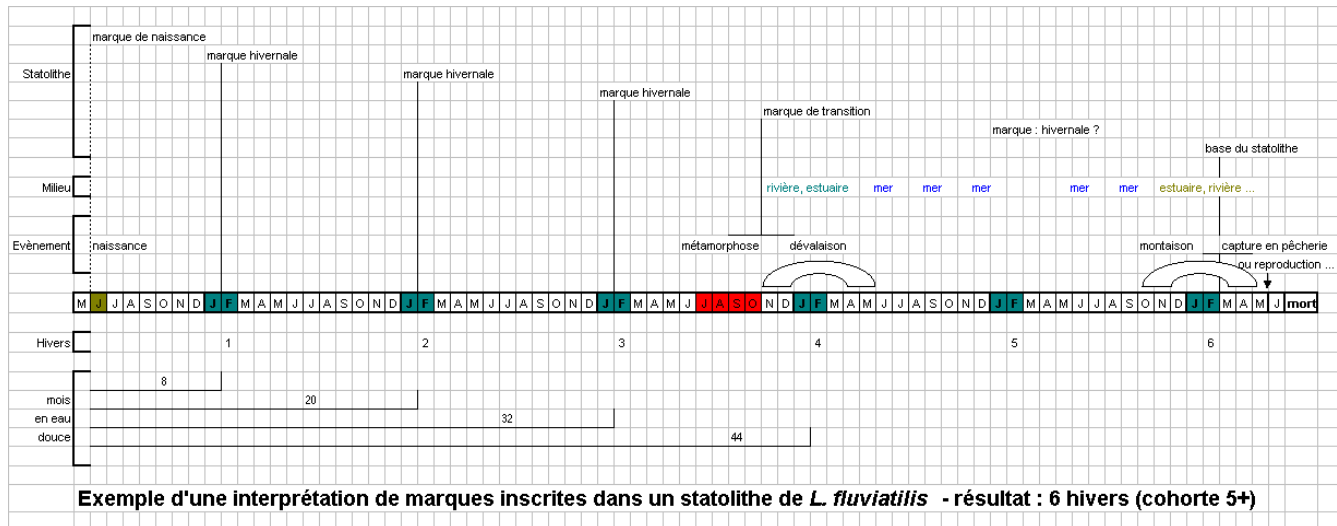
Evolution des débits de la Garonne et de la Dordogne au cours des suivis de la pêche à la lamproie marine 2003 et 2004

Annexe 4

Différences et significativité entre les moyennes de Ts observés et Ts prédits à longueurs totales identiques au stade adulte (prédiction faite avec la relation Lt-Ts obtenue par genre au stade larvaire à l'aide d'échantillons provenant du bassin de la Dordogne)

Ts obs. chez les adultes :	Etendue des Lt (mm)	Diff. moyenne	IC 95%	test <i>t</i>	dl	prob
<i>Lampetra sp.</i>	257-342	-82	-92 à -71	-15.06	42	0.000
<i>P. marinus</i>						
Saisons 2003 & 2004	712-980	-245	-258 à -232	-37.35	77	0.000
Saison 2004		-186	-195 à -176	-40.31	46	0.000

Annexe 5



Annexe 6

Types et caractéristiques des faciès (ou macrohabitats) inventoriés par cours d'eau

Livenne 2002 (cat. ordre : 4 – module : 2.5 m³/s)

Faciès principal	Faciès secondaire	Profondeurs (m)	Vitesses en fond (m.s ⁻¹)	Surfaces (m ²)	Larves (N)
Plat		0.13 à 0.26	-0.01 à 0.33	0.91	7
Banc		0.04 à 0.34	-0.10 à 0.43	1.19	5
Mouille	M.de concavité	0.24 à 0.67	0 à 0.30	0.56	3
Radier		0.06 à 0.16	0.21 à 0.54	0.56	0
lone		0.19 à 0.27	0	0.28	2
Total				3.50	17

Cère 2002 (cat. ordre : 4 – module : 20 m³/s)

Faciès principal	Faciès secondaire	Profondeurs (m)	Vitesses en fond (m.s ⁻¹)	Surfaces (m ²)	Larves (N)
Plat courant	-	0.3	0.12	2	0
	Bordure	0.2 à 0.5	0.02 à 0.04	5	17
Chenal lentique		0.8 à 1	0.02	2	0
	Bordure	0.4 à 1	0.01 à 0.05	4	0
Mouille	Anses d'érosion	0.8 à 1	- 0.01 à 0	4	6
Lone		2	0.00	2	0
Total				19	23

Dronne 2002 (cat. ordre : 4 – module : 20 m³/s)

Faciès principal	Faciès secondaire	Profondeurs (m)	Vitesses en fond (m.s ⁻¹)	Surfaces (m ²)	Larves (N)
Chenal lentique	-	1.3 à 3.7	0.02 à 0.12	1.80	1
	bordure	0.8	0.05	0.24	0
Zone d'étalement		0.3 à 1.4	0 à 0.12	1.23	5
Banc		0.6 à 1.15	0.02 à 0.12	0.92	0
Mouille	M. de concavité	1.4 à 3.9	0.05 à 0.11	0.37	0
	Encoche	0.4	-0.05	0.24	0
Radier	Bordure	0.45	0.09	0.24	0
Total				5.05	6

Annexe 6 (suite)

Types et caractéristiques des faciès (ou macrohabitats) inventoriés par cours d'eau

Dronne 2003 (cat. ordre : 4 – module : 20 m³/s)

Faciès principal	Faciès secondaire	Profondeurs (m)	Vitesses en fond (m.s ⁻¹)	Surfaces (m ²)	Larves (N)
Radier		0.3	0.11 - 0.51	1.5	0
Plat courant	-	0.2-0.4	0.05 - 0.44	12	0
	Bordure	0.3-1	0.03 - 0.13	2	2
Banc		0.2	-0.01- 0.04	1.5	0
Mouille	-	1 - 4	-0.03 - 0.23	4.5	1
	M.de concavité	1	0.06	0.05	2
	Encoche	2	-0.06	0.5	0
Chenal lent.		1 - 1.6	0.07 - 0.15	2	0
	Bordure	0.3 - 1	-0.03 - 0.01	7.5	1
Total				32	6

* : de la litière à l'atterrissement sablonneux

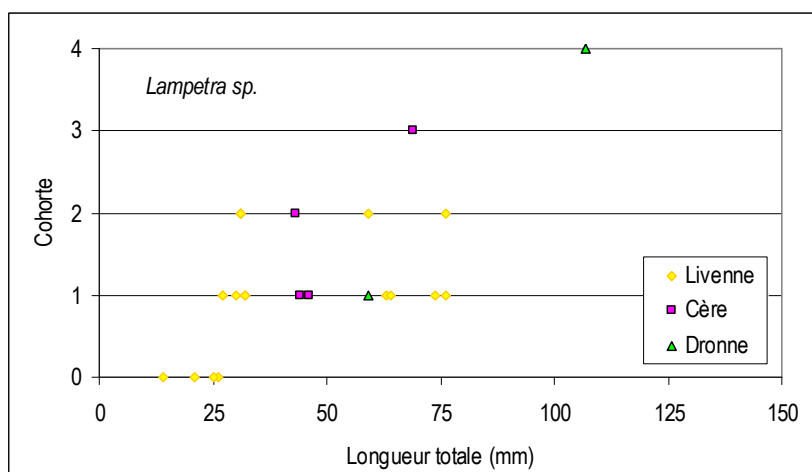
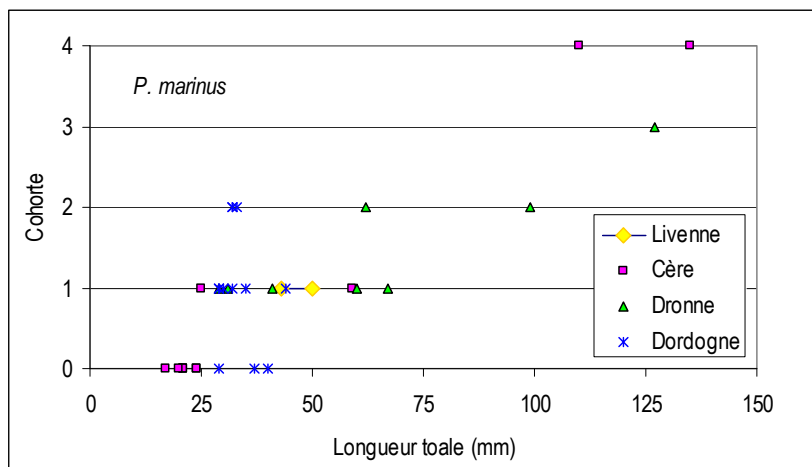
Dordogne 2003 & 2004 (cat. ordre : 6 – module : 280 m³/s)

Faciès principal	Faciès secondaire	Profondeurs (m)	Vitesses en fond (m.s ⁻¹)	Surfaces (m ²)	Larves (N)
Chenal lotique	(Hydrophytes imm.)	0,75-1.1	0.03-0.06	4	2
Mouille	-	1 - 6	> -0.01 - 0.26	7	3
	M. de concavité	2.2 - 3	0.03 – 0.1	4	0
	Encoche	1	0.00	1	3
Banc		1	0.08	1	0
	(Hydrophytes imm.)	1 – 1.9	<0.06 – 0.08	8	1
Chenal lent.	-	1.2 – 2.5	0.02 – 0.07	4	10
	(Hydrophytes imm.)	1.1 – 2.5	0.03 – 0.06	4	1
Bordure *	(Hydrophytes imm.)	0.1 – 1.6	< -0.01 – 0.12	8	0
Total				41	20

* : dans les grands cours d'eau, les bordures peuvent être considérées comme un macrohabitat en raison de leurs proportions suffisamment élevée

Annexe 7

Relations âge- longueur totale obtenues chez les larves *P. marinus* et *Lampetra*



Tailles des statolithes prédites (μm) pour des longueurs totales donnés (mm)

	10 mm	50 mm	100 mm	150 mm	
<i>Lampetra sp.</i>	139	227	279	316	$P \leq 0.0001$
<i>P. marinus</i>	113	209	272	317	$P \leq 0.0001$

Annexe 8

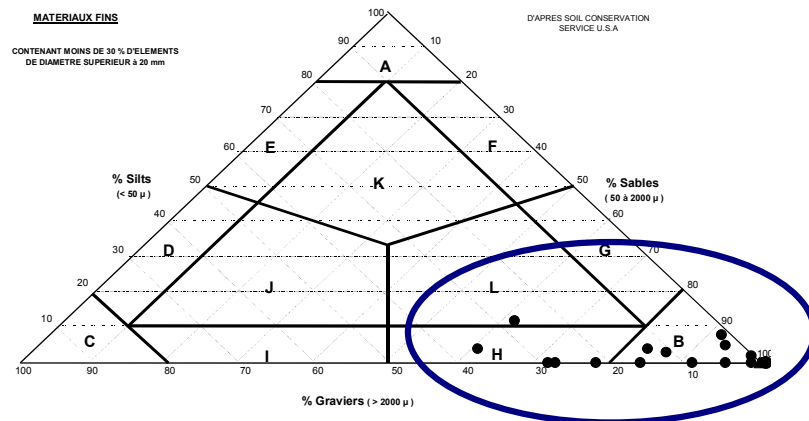
Quantités de larves (espèces confondues) obtenues par cours d'eau et par type d'habitat selon la classification de Slade & al. (2003)

	Total	I	II	III
Livonne	19	19	0	0
Cère	23	11	12	0
Dronne	12	9	1	2
Dordogne	20	16	3	1
Total	74	55	16	3
%	100	74	22	4

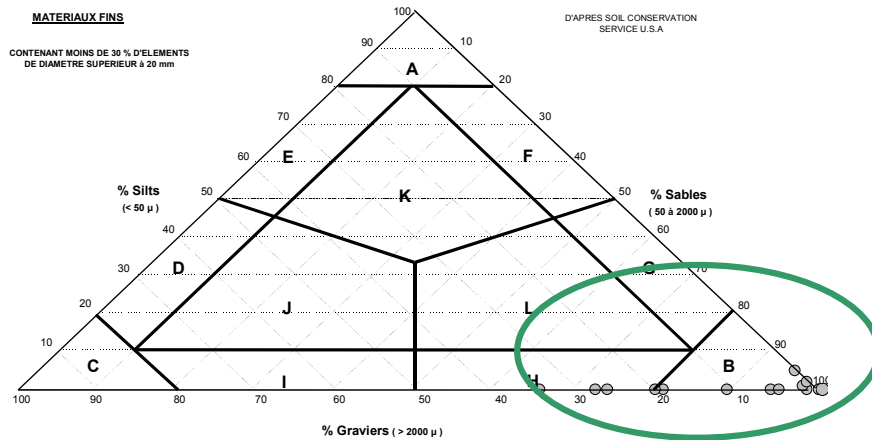


Crédits photographiques : 1, 2, 3, 7, 11, 12 C. Taverny – 4, 5, 6, 9, 10 R. Le Barh – 8 C. Roqueplo

Annexe 9

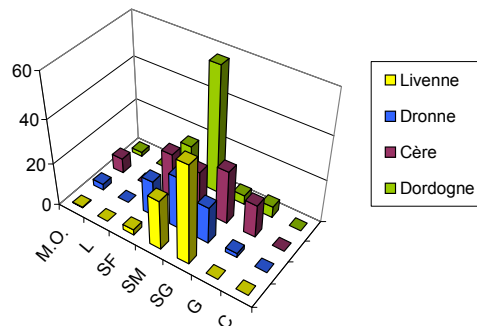


Petromyzon marinus



Lampetra sp.

Classification triangulaire des substrats contenant des larves enfouies (hors mésohabitats de type MVA et GVA) – A : silts / B : sables / C : graviers / D : graveleux à tendance silteuse / E : silteux à tendance graveleuse / F : vaseux à tendance sableuse ; G : sableux à tendance silteuse / H : sableux à tendance graveleuse / I : graveleux à tendance sableuse / J : graveleux à tendance silteuse et sableuse / K : vaseux à tendance sableuse et graveleuse / L : sableux à tendance graveleuse et silteuse



Distribution des classes granulométriques dans les sédiments colonisés par les larves des deux genres dans chacun des cours d'eau (M.O. matières organiques ; L : limons ; SF sables fins ; SM sables moyens ; SG sables grossiers ; G graviers ; C cailloux)

Annexe 10

	Sexe	Nombre	Longueur totale	Poids total	Poids des gonades	RGS
<i>Dordogne</i>						
23-01-2003	Femelle	10	856	1220	96.3	7.95
	Mâle	10	843	1142	15.2	1.32
13-02-2003	Femelle	8	843	1119	96.8	8.67
	Mâle	13	849	1117	27.6	2.45
06-03-2003	Femelle	11	856	1166	100.8	8.81
	Mâle	9	848	1178	22.7	1.92
27-03-2003	Femelle	9	878	1228	114.8	9.55
	Mâle	11	854	1105	20.3	1.85
18-04-2003	Femelle	15	859	1179	117	10.20
	Mâle	5	865	1071	20.7	1.93
30-01-2004	Femelle	12	829	1129	110.4	9.85
	Mâle	8	854	1126	21.5	1.94
19-02-2004	Femelle	7	837	1126	114.4	10.19
	Mâle	13	852	1119	20.3	1.81
04-03-2004	Femelle	9	844	1099	99.4	9.36
	Mâle	12	870	1192	22.7	1.9
25-03-2004	Femelle	8	901	1303	112.2	8.76
	Mâle	12	860	1087	19.4	1.76
08-04-2004	Femelle	10	899	1325	108.6	8.37
	Mâle	10	905	1251	23.0	1.85
21-04-2004	Femelle	13	909	1397	119.4	8.69
	Mâle	7	867	1120	18.5	1.62
06-05-2004	Femelle	11	845	1105	114.6	10.69
	Mâle	10	855	1069	19.8	1.86
18-05-2004	Femelle	16	810	987	108.7	10.98
	Mâle	6	867	1044	17.8	1.72

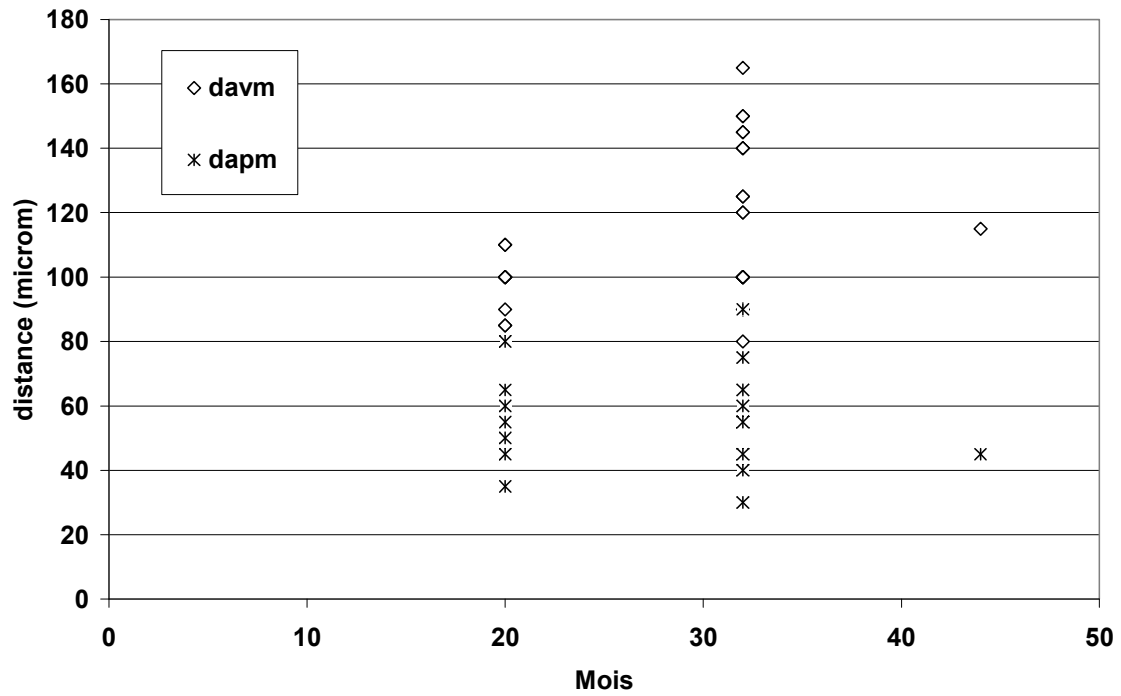
Données sur la longueur totale (mm), le poids total, le poids des gonades (g) et le rapport gonado-somatique (RGS) moyens obtenus au cours des saisons 2003 et 2004 dans la Dordogne

Annexe 10 (suite)

	Sexe	Nombre	Longueur totale	Poids total	Poids des gonades	RGS
<i>Garonne</i>						
31-01-2003	Femelle	8	783	1064	114.5	10.92
	Mâle	16	768	933	20.8	2.22
21-02-2003	Femelle	9	756	958	109.9	11.6
	Mâle	21	760	924	21.5	2.37
14-03-2003	Femelle	23	751	790	99.5	12.63
	Mâle	7	762	811	21.3	2.69
04-04-2003	Femelle	15	896	1341	123.8	9.61
	Mâle	15	876	1252	30.7	2.49
25-04-2003	Femelle	16	808	1123	129.8	11.62
	Mâle	14	820	1136	28.8	2.55
20-02-2004	Femelle	16	751	875	98.0	11.13
	Mâle	14	768	836	14.9	1.86
12-03-2004	Femelle	13	779	978	97.0	10.04
	Mâle	15	797	966	18.0	1.89
02-04-2004	Femelle	12	807	1047	114.4	10.99
	Mâle	18	848	1084	20.5	1.88
16-04-2004	Femelle	17	831	1156	114.1	9.29
	Mâle	13	854	1182	22.7	1.89
30-04-2004	Femelle	19	882	1321	119.1	9.02
	Mâle	11	875	1332	23.3	1.71
19-05-2004	Femelle	11	918	1566	128.1	8.10
	Mâle	8	943	1527	26.4	1.66

Données sur la longueur totale (mm), le poids total, le poids des gonades (g) et le rapport gonado-somatique (RGS) moyens obtenus au cours des saisons 2003 et 2004 dans la Garonne

Annexe 11



Distances mesurées entre les marques dites de naissance et de métamorphose (davm) et après la marque de métamorphose (dapm) - Résultats avec les statolithes de *L. fluviatilis* saison 2003