



Maison wallonne de la pêche ASBL

Les Lacs de l'Eau d'Heure ASBL

Projet d'implantation de frayères artificielles flottantes dans
les lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille
pour favoriser la reproduction des poissons phytophiles

Rapport final

Novembre 2007

(approuvé le 11/01/2008)

Ir. Adrien NEMRY

Mireia BES

Dr Xavier ROLLIN

Avec le soutien de :



**Ministère de la Région Wallonne
Direction des Cours d'Eau Non Navigables
Direction Générale des Ressources Naturelles
et de l'Environnement**

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes et les associations suivantes :

- La Ligue Royale de Propagande des Pêcheurs de l'Est et plus particulièrement Messieurs Francis Huybrechts et Jean-Marie Lorquet pour le prêt et le transport de cinq frayères et les conseils, très utiles, prodigués sur le terrain.

- Le personnel des Lacs de l'Eau d'Heure ASBL pour sa disponibilité et sa bonne humeur, en particulier Mme A. Cabaraux, Directrice, et Monsieur L. Pétré, Responsable technique.

- Le Ministère des Equipements et des Transports à travers Messieurs Dierickx et Pestiaux pour les informations communiquées à propos de la gestion hydraulique des lacs de l'Eau d'Heure.

- Les membres de l'Association de Défense et de Promotion de la Pêche dans les Lacs de l'Eau d'Heure ASBL, en particulier Monsieur D. Windal, Secrétaire.

- Messieurs J-M Schoeling et A. Martiny respectivement membres d'IGRETEC et de la Division de l'Eau pour le prêt du rapport final sur les lacs de l'Eau d'Heure.

- Les membres du Comité d'accompagnement pour le temps qu'ils ont accordé à ce projet.

- Les chercheurs de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes des Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur et plus particulièrement H. Sarmiento, C. Malbrouck et P. Fossion ainsi que D. Sonny de ProFish Technology SA, pour leur aide dans l'identification des larves de poissons et des constituants du colmatage.

1	Introduction	6
2	Présentation du complexe des lacs de l'Eau d'Heure.....	8
2.1	Localisation	8
2.2	Missions principales	9
2.3	Gestion hydraulique.....	10
2.4	Ecologie des Lacs	14
2.4.1	Influence de la température sur la reproduction des poissons.....	14
2.4.2	Phytoplancton.....	15
2.4.3	Macrophytes	17
3	Les frayères artificielles	25
3.1	Introduction	25
3.2	Les différents types de structures	25
3.2.1	Frayères fixes	25
3.2.2	Frayères flottantes	26
3.3	Les substrats	32
3.3.1	Nature et structure	32
3.3.2	La couleur.....	34
3.3.3	Produits hormonaux comme attractants	34
3.3.4	L'inclinaison.....	34
3.3.5	Le colmatage	34
3.4	Lieux d'implantation	35
4	Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du brochet (<i>Esox lucius</i> L.)	36
4.1.1	Reproduction du brochet	36
4.1.2	Eclosion et développement.....	39

4.1.3	Caractéristiques de l’habitat des larves	41
4.1.4	Caractéristique de l’habitat des juvéniles et des adultes	42
4.1.5	Végétation et cycle de vie du brochet	43
5	Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du gardon (<i>Rutilus rutilus</i> L.)	50
5.1.1	Reproduction du gardon	50
5.1.2	La fraie	50
5.1.3	Les frayères	51
5.1.4	L’œuf et son développement	52
5.1.5	Les larves : besoins et développement	53
5.1.6	Caractéristiques de l’habitat des adultes	56
6	Mise en place et suivi des frayères artificielles sur les lacs de la Plate Taille et de l’Eau d’Heure	58
6.1	Calendrier général des actions.....	58
6.2	Mise en place	60
6.3	Colmatage et positionnement	62
6.4	Observation des pontes.....	73
6.4.1	Périodes d’observation	73
6.4.2	Comptage	74
6.4.3	Reproduction naturelle	76
6.4.4	Taux d’éclosion	78
6.5	Analyse économique.....	80
6.5.1	But	80
6.5.2	Méthodologie et hypothèses de travail.....	80
6.5.3	Résultats	84

7 Alternatives et aménagements complémentaires aux frayères flottantes sur les lacs de l’Eau d’Heure	91
7.1 Introduction	91
7.2 Zone à niveau constant	91
7.3 Passes à poissons	93
7.4 Végétalisation des berges et des zones de marnage	94
7.5 Immersion d’arbres.....	96
7.6 Déplacement des œufs	96
7.7 Création d’îles flottantes.....	97
7.8 Remise en état du ruisseau de la Taille à Truites	99
8 Information des pêcheurs et du grand public	101
8.1 Brochure « Frayères artificielles flottantes »	101
8.2 Pages Internet	101
9 Discussion	103
9.1 Les objectifs de la mission ont-ils été remplis ?.....	103
9.2 Les frayères artificielles flottantes sont-elles un succès ?.....	104
10 Perspectives.....	110
11 Conclusions	115
12 Bibliographie.....	116

1 Introduction

Les fluctuations de niveau d'eau engendrées par la gestion hydraulique de certains lacs artificiels empêchent l'implantation durable de la végétation aquatique tant émergée qu'immergée. En conséquence, les poissons phytophiles, espèces déposant leurs œufs sur des végétaux immergés, sont pratiquement privés de substrat de reproduction, et donc de recrutement naturel, ce qui provoque un déséquilibre de leurs populations. De plus, lorsqu'une reproduction intervient malgré tout, le marnage quotidien découvre la frange supérieure des herbiers ce qui entraîne la mort des œufs qui y ont été pondus.

Cette situation se retrouve sur les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure où une diminution des captures de juvéniles, principalement de brochet, a été observée ces dernières années. Le marnage important observé dans ces lacs est probablement à la base de ce problème car il perturbe le développement de la végétation. Plusieurs espèces de poissons présentes dans ces lacs peuvent être affectées par cette situation. Il s'agit principalement du brochet (*Esox lucius*), du gardon (*Rutilus rutilus*), du rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*), de la tanche (*Tinca tinca*), de la carpe commune (*Cyprinus carpio*), de la brème commune (*Abramis brama*), de la grémille (*Gymnocephalus cernuus*) et de la perche fluviatile (*Perca fluviatilis*). Parmi ces espèces, le brochet, la tanche, la carpe et le rotengle sont particulièrement sensibles à ce problème car elles sont strictement phytophiles alors que les autres espèces citées plus haut peuvent s'adapter à l'absence de végétation et déposer malgré tout leurs œufs sur d'autres substrats, mais avec un rendement variable.

C'est dans le cadre de cette problématique qu'une convention a été passée entre Les Lacs de l'Eau d'Heure ASBL et le Ministère de la Région Wallonne (Direction des Cours d'Eau Non Navigables), en partenariat avec la Maison wallonne de la pêche ASBL, la Fédération Provinciale des Pêcheurs du Hainaut ASBL, la Fédération Halieutique de l'entre Sambre et Meuse ASBL et l'Association pour la Défense et la Promotion de la Pêche dans les Lacs de l'Eau d'Heure ASBL. Son principal objectif est de tenter d'améliorer la reproduction des poissons partiellement ou strictement phytophiles en étudiant la faisabilité de l'implantation de frayères artificielles flottantes dans les lacs de l'Eau d'Heure.

Le présent travail débutera par une présentation générale des lacs de l'Eau d'Heure et de la problématique du marnage qui les affectent (Chapitre 1). Ensuite, on passera en revue les technologies existantes en matière de frayères artificielles flottantes dans les lacs grâce à une analyse bibliographique (Chapitre 2). Les chapitres 3 et 4 analyseront les caractéristiques des habitats et les besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du brochet, espèce strictement phytophile présente dans les lacs, et du gardon, espèce beaucoup moins dépendante de la végétation et elle aussi présente dans les lacs considérés.

2 Présentation du complexe des lacs de l'Eau d'Heure

2.1 Localisation

Le complexe des barrages de l'Eau d'heure est situé à cheval sur les provinces de Namur et du Hainaut entre Charleroi, Philippeville et Beaumont. Il est composé de deux grands lacs, la Plate Taille et l'Eau d'Heure, et de trois pré-barrages : Féronval, Falemprise et le Ry Jaune (Figure 2.1). L'ensemble représente environ 600 ha de plan d'eau et 50 km de rives (Tableau 2.1).

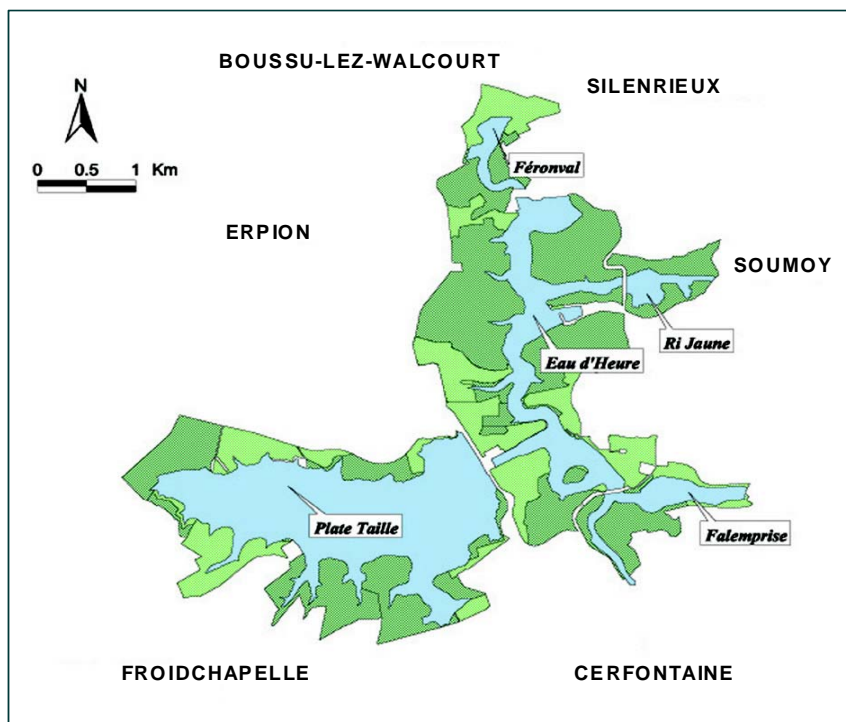


Figure 2.1. Disposition des lacs et pré-barrages du complexe de l'Eau d'Heure (source : IGRETEC, 2004).

Tableau 2.1. Caractéristiques physiques et techniques des lacs du complexe de l’Eau d’Heure (source : IGRETEC, 2004).

Caractéristiques	Plate Taille	Eau d’Heure	Falemprise	Ry Jaune	Féronval	Total
Superficie	351 ha	165 ha	47,3 ha	31,5 ha	21,1 ha	615,9 ha
Capacité	67,80 hm ³	14,75 hm ³	1,23 hm ³	1,14 hm ³	0,78 hm ³	85,7 hm ³
Alimentation	Par pompage	naturelle	naturelle	naturelle	naturelle	
Longueur des berges	16,86 km	19,98 km	5,78 km	3,02 km	3,62 km	49,26 km

2.2 Missions principales

Créé en 1971, le complexe des barrages de l’Eau d’Heure a pour but principal d’assurer le soutien d’étiage de la Sambre et l’approvisionnement en eau de la Meuse après son chômage technique. Pour atteindre cet objectif, un barrage a été érigé en travers de la vallée de l’Eau d’Heure, un affluent de la Sambre. Malheureusement, la quantité d’eau nécessaire au projet ne pouvait être atteinte sans inonder une vaste région habitée en amont du lac de Falemprise, c’est pourquoi un autre barrage a été construit sur la vallée de la Plate Taille. Cette vallée n’étant pas à même de se remplir naturellement, de l’eau est pompée à partir du lac de l’Eau d’Heure (capacité maximale 14,75 millions de m³) et stockée dans la Plate Taille (capacité maximale 67,80 millions de m³). D’autre part, des centrales hydroélectriques ont été installées afin de profiter de la différence de niveau entre les deux lacs et de convertir l’énergie potentielle en énergie électrique qui approvisionne le réseau électrique lors des pics de consommation. En outre, les lacs ont également une fonction récréative et touristique ; de nombreuses activités telles que la voile, la baignade, le ski-nautique, la pêche, etc. y sont pratiquées. On peut classer comme suit les différentes missions en fonction de leur priorité actuelle pour les gestionnaires :

- Le soutien de l’étiage de la Sambre
- La production d’électricité
- Le tourisme et les loisirs
- La fonction écologique

2.3 Gestion hydraulique

L’approvisionnement en eau de la Sambre et de la Meuse entraîne des fluctuations du niveau des lacs car ceux-ci sont progressivement vidés afin de soutenir l’été de ces cours d’eau. Les gestionnaires tentent de suivre une courbe de gestion de type sinusoïdale qui prévoit un niveau maximum au printemps, une diminution en été et en automne et une augmentation en hiver (**Figure 2.2**). Cette gestion est à mettre en relation avec les précipitations et les besoins en eau de la Sambre qui, lors des mois les plus secs, nécessite un apport d’eau afin de permettre la navigation. Les mois les plus humides sont mis à profit pour accumuler l’eau qui sera restituée ultérieurement. En outre, tous les trois ans, la Meuse est mise en chômage technique pour assurer les réparations et entretiens nécessaires. Le lâché d’eau permettant le retour à un niveau normal de la Meuse induit également une baisse du niveau de la Plate Taille. Toutefois, celle-ci est nettement plus faible que celle provoquée par le soutien de la Sambre et présente l’avantage d’être prévisible.

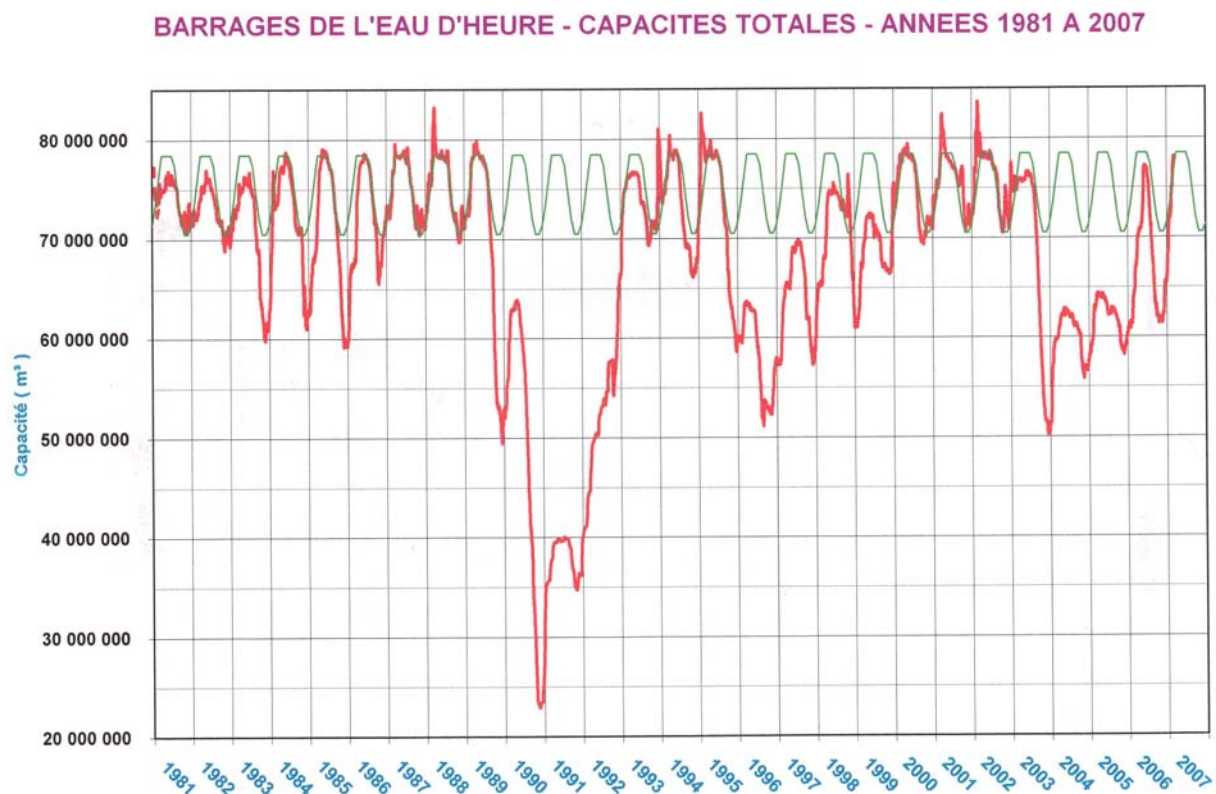


Figure 2.2. Capacité totale (m³) des barrages de l’Eau d’Heure planifiées (en vert) et effective (en rouge) pour la période de 1981 et 2007 (source : Ministère de l’Équipement et des Transports).

La courbe verte de la **figure 2.2** représente la ligne de conduite fixée par les gestionnaires tandis que la courbe rouge représente les variations réelles de la capacité des lacs de l'Eau d'Heure entre 1981 et 2007. On remarque que même si pour certaines années, les deux courbes sont assez proches, il y a des périodes critiques (1989, 1990, 1996 et 2003) qui entraînent des perturbations durant plusieurs années avant de récupérer la courbe de gestion théorique. Ces périodes de déficit ont probablement été induites par un manque de précipitations comme semble l'indiquer les relevés pluviométriques assez faibles pour les années citées. Des lâchers d'eau importants ont été réalisés afin de compenser la faible cote de la Sambre. Cette situation est représentée à la **figure 2.3** qui reprend l'exemple spécifique de 2003. Les barres verticales vertes représentent les lâchers à destination de la Sambre et les barres rouges, ceux effectués pour la Meuse. D'autre part, pour plusieurs années, on remarque un dépassement de la courbe de référence. Ce dernier provient du stockage d'eau plus important réalisé en temps de fortes précipitations afin d'écrêter les crues et protéger les habitations situées en aval des lacs.

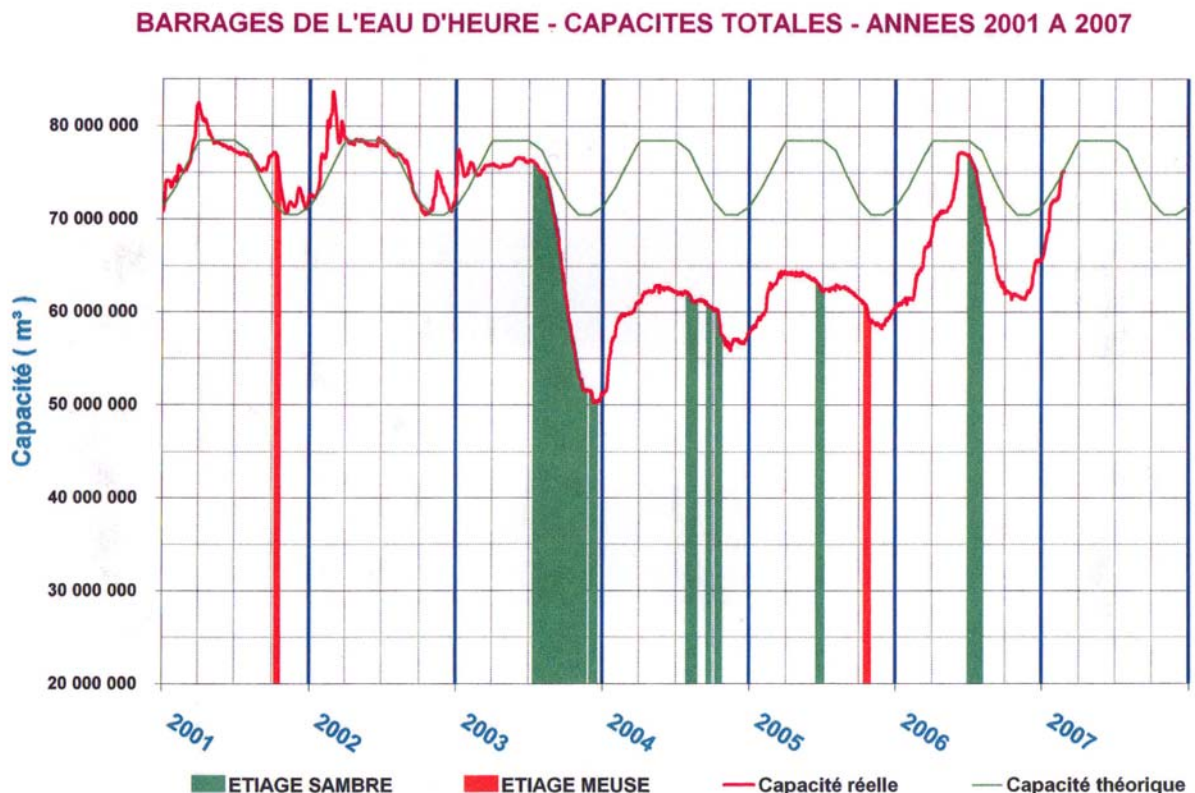
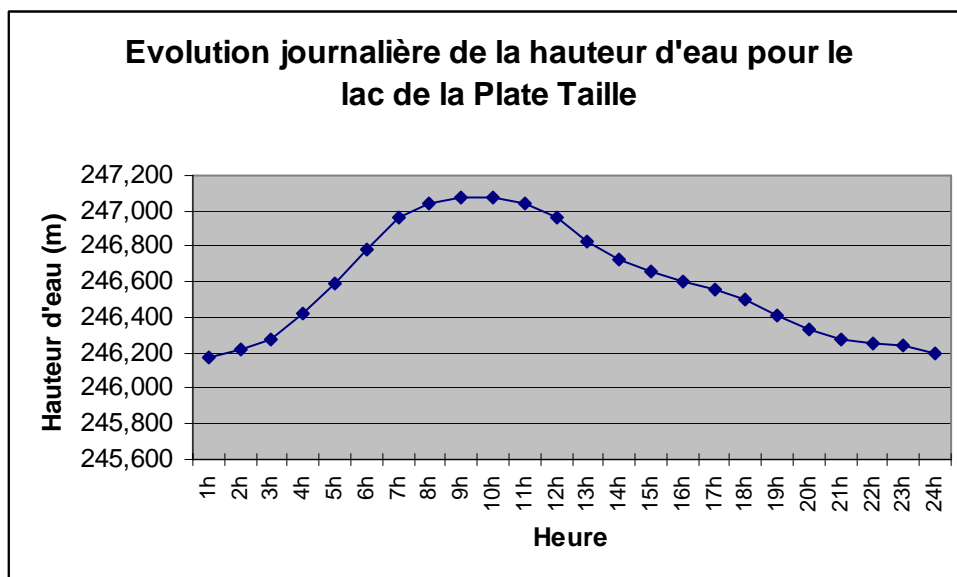


Figure 2.3. Capacité totale des barrages de l'Eau d'Heure planifiées (en vert) et effective (en rouge) pour la période de 2001 à 2007 (source : Ministère de l'Equipement et des Transports).

La Plate Taille est soumise à un régime de variation de niveau saisonnier et journalier. La sévérité des fluctuations saisonnières est fonction des conditions climatiques rencontrées au cours de l'année tandis que les variations journalières sont dues aux cycles de pompage-turbinage associés à la production d'hydroélectricité.

La production électrique entraîne également des variations de niveau pour le lac de l'Eau d'Heure mais dans des proportions différentes de celles observées pour la Plate Taille. En effet, de par la taille réduite du premier rapport au second, la cote de l'Eau d'Heure fluctue plus fortement lors de l'apport ou du prélèvement d'un même volume d'eau.

Pendant les heures de forte demande électrique (en journée), l'énergie électrique est produite en turbinant l'eau du réservoir supérieur (Plate Taille). Pendant les heures creuses (la nuit), la réserve d'énergie est reconstituée en pompant du réservoir inférieur (Eau d'Heure) le volume d'eau turbiné le jour. Cette activité entraîne un marnage quotidien d'environ 2m sur la Plate Taille et d'environ 5m sur le lac de l'Eau d'Heure. La **figure 2.4** représente la variation journalière moyenne de la hauteur d'eau sur les deux lacs pour l'année 2006. La tendance des courbes met bien en évidence la suite des pompages-turbinages.



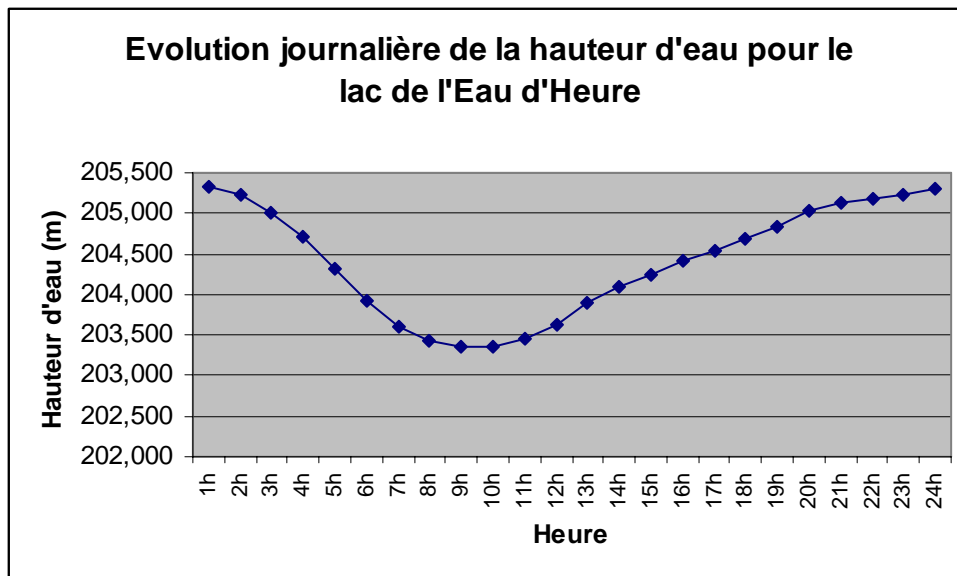


Figure 2.4. Evolution journalière moyenne de la hauteur d'eau en 2006 pour les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure (source : Ministère de l'Équipement et des Transports).

La combinaison des deux types de variation de niveau, saisonnier et journalier, entraîne une diminution drastique de la végétation aquatique dans la zone de marnage, avec des conséquences particulièrement négatives pour le succès reproducteur et recrutement naturel des poissons phytophiles (Gaboury et Patalas, 1984 *in* Craig, 1992).

2.4 Ecologie des Lacs

2.4.1 Influence de la température sur la reproduction des poissons

La température est un paramètre très important pour la reproduction de nombreuses espèces de poissons. En effet la ponte ne peut avoir lieu que lorsqu'une température minimale est atteinte. De plus, la durée de l'incubation ainsi que la croissance des larves et des alevins est fonction de la température. Le **tableau 2.2** reprend ces seuils pour quelques espèces particulières présentes dans les lacs.

Tableau 2.2. Température et période de reproduction pour les espèces de poissons phytophiles présentes dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'heure.

Espèce	Température de reproduction	Période de reproduction estimée pour les lacs de l'Eau d'Heure
Brochet	7°C-11°C ¹	mi-avril à mi-mai
Gardon	14°C-16°C ⁴	mai à mi-juin
Rotengle	18°C-27°C ¹	juillet-août
Tanche	18°C-26°C ³	juillet-août
Carpe	20°C-22°C ¹	juillet-août
Brème	12°C-16°C ¹ 14°C-20°C ² 15°C ³	mai-juin mai-juin mai-juin
Perche	12°C-14°C ¹	mai
Grémille	10°C-15°C ²	fin avril à mi-mai

¹ Bruslé J. et Quignard J-P, 2001

² Poncin P., 1996

³ Dupont E., 1998

⁴ Huet M., 1983

La **figure 2.5** reprend l'évolution de la température dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure mesurée pendant deux années, 2002 et 2003, à 1 mètre de profondeur. Nous pouvons remarquer que les courbes sont relativement similaires pour les deux lacs malgré des valeurs légèrement plus élevées pour l'Eau d'Heure. Le début des périodes de reproduction a pu être

estimé en comparant les données de température des lacs reprises à la **figure 2.5** avec les exigences thermiques pour la reproduction des espèces de poisson des lacs (**tableau 2.2**). Il est important de noter que ces estimations sont faites sur base des données de deux années seulement ce qui ne les rend pas très fiables. Il serait très intéressant de disposer d'un maximum d'information sur les dates des pontes des différentes espèces de poissons dans les lacs en rapport avec la température de l'eau. Cette information nous permettrait de placer les frayères au bon moment et d'éviter de les laisser en place plus de temps que nécessaire, permettant ainsi de limiter le colmatage et les frais d'entretien.

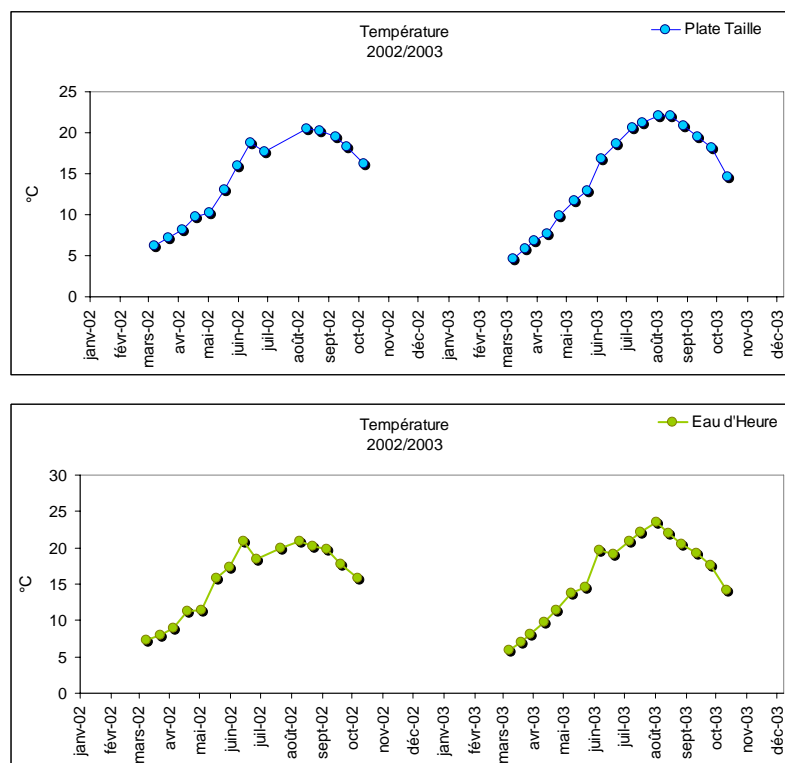


Figure 2.5. Evolution de la température de l'eau dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure pour les années 2002 et 2003 (source : IGRETEC, 2004).

Les échanges d'eau entre les deux lacs (pompage, turbinage) ne permettent probablement pas l'établissement d'une réelle stratification thermique car ils occasionnent le brassage de la colonne d'eau. Ceci occasionne probablement un réchauffement plus lent des eaux et retarde la reproduction des poissons.

2.4.2 Phytoplancton

Le phytoplancton des lacs est largement dominé par les diatomées (**Figure 2.6**). On remarque une explosion de leur population lors de deux périodes principales : un pic de printemps, le

plus important, et un pic en automne. Les diatomées représentent plus de 80% de la biomasse phytoplanctonique totale au printemps. Cette explosion peut entraîner un colmatage de frayères artificielles qui nécessitent alors des entretiens plus fréquents et intenses.

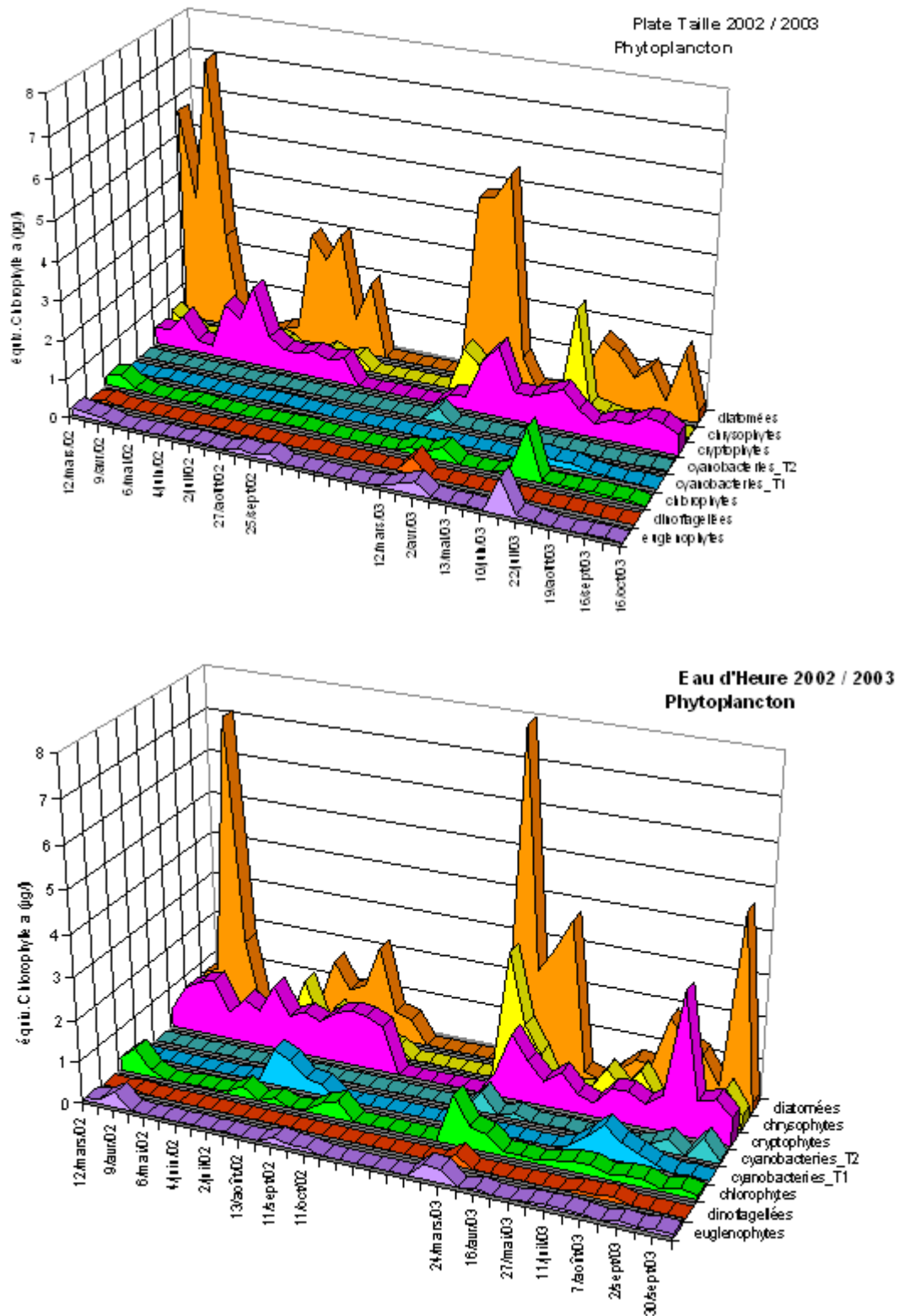


Figure 2.6. Composition du phytoplancton dans les lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille en 2002 et 2003 (source : IGRETEC, 2004).

Début mai, on observe un boom de zooplancton qui se fait aux dépens des diatomées. Il en résulte une phase d'eaux claires qui permet le développement d'autres types de phytoplancton tels que des cryptophytes et des chrysophytes mais dans une plus faible mesure que les pics enregistrés précédemment.

Vers la fin de l'été et le début de l'automne il y a un autre développement important des diatomées qui dominant de nouveau le phytoplancton (second pic). Toutefois, ce développement est plus faible que celui du printemps et est en outre à mettre à l'actif d'autres espèces de diatomées.

La transparence de l'eau et la profondeur de la zone photique sont directement liées aux phases de développement et de récession du phytoplancton comme on peut l'observer à la **figure 2.7**. La croissance de la végétation aquatique est fonction de la zone photique. La grande transparence de l'eau pour les lacs considérés permet une implantation des macrophytes jusqu'à des profondeurs assez importantes. Les herbiers des profondeurs, à l'abri de la plupart des mises à sec peuvent servir avec succès de substrat de ponte pour les poissons phytophiles. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que ces derniers sont peu nombreux et que leur stade de développement n'est pas optimal lors de la période de reproduction des espèces se reproduisant le plus tôt dans la saison.

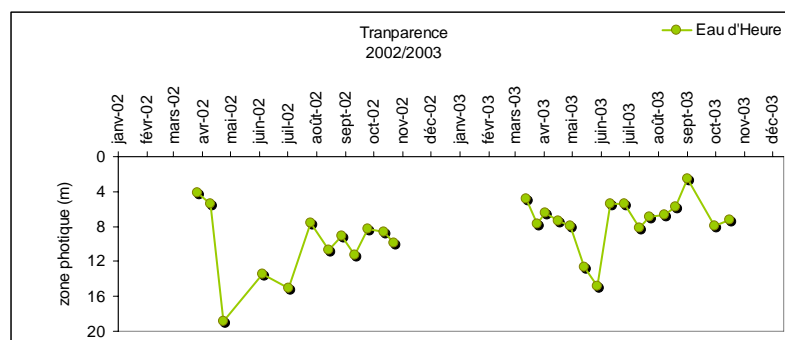


Figure 2.7. Profondeur de la zone photique pour le lac de l'Eau d'Heure en 2002 et 2003 (source : IGRETEC, 2004).

2.4.3 Macrophytes

Dans la Plate Taille, on trouve six espèces de macrophytes (**Figure 2.8**). Parmi celles-ci, *Elodea canadensis* et *Elodea nuttallii* forment des herbiers qui se trouvent principalement dans les anses. Insérées dans ces herbiers, se développent également d'autres espèces telles

que *Potamogeton pectinatus*, *Callitriche palustris* et *Myriophyllum spicatum*. De plus, quelques touffes de *Potamogeton lucens* sont présentes près de l'ADEPS. Ensembles, elles recouvrent moins de 1% de la surface totale du lac.

Comme cité précédemment, ces herbiers jouent un rôle déterminant pour la survie des œufs et la croissance des larves et alevins.

La **figure 2.9** reprend la localisation des principaux herbiers de la Plate Taille.

Dans l'Eau d'Heure, les herbiers d'élodées sont considérés comme envahissants. Des mesures réalisées dans le cadre de l'étude montrent que dans ce cas, ils occupent approximativement 7% de la surface du lac. En plus des élodées (*E. nuttallii* et *E. canadensis*), on retrouve également comme espèces accompagnatrices deux potamots (*Potamogeton pectinatus* et *Potamogeton crispus*) ainsi que *Myriophyllum spicatum*.

La figure **2.10** reprend la localisation des principaux herbiers de l'Eau d'Heure.

Selon Kunii (1984) les élodées ont besoin de 8 à 12°C pour débuter leur croissance. Cette fourchette de température correspond à celle du début de la reproduction chez le brochet ; dès lors, il est fort probable que les massifs d'élodées ne soient pas encore assez développés pour être utilisés comme substrat de ponte par le brochet. L'apport d'un substrat de ponte artificiel peut donc être utile pour améliorer la reproduction de cette espèce dans les lacs de l'Eau d'Heure.



Elodea canadensis



Elodea nuttallii



Myriophyllum spicatum



Callitriche palustris



Potamogeton pectinatus



Potamogeton lucens



Potamogeton crispus

Figure 2.8. Principaux macrophytes aquatiques présents dans les lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille

Lac de la Plate Taille

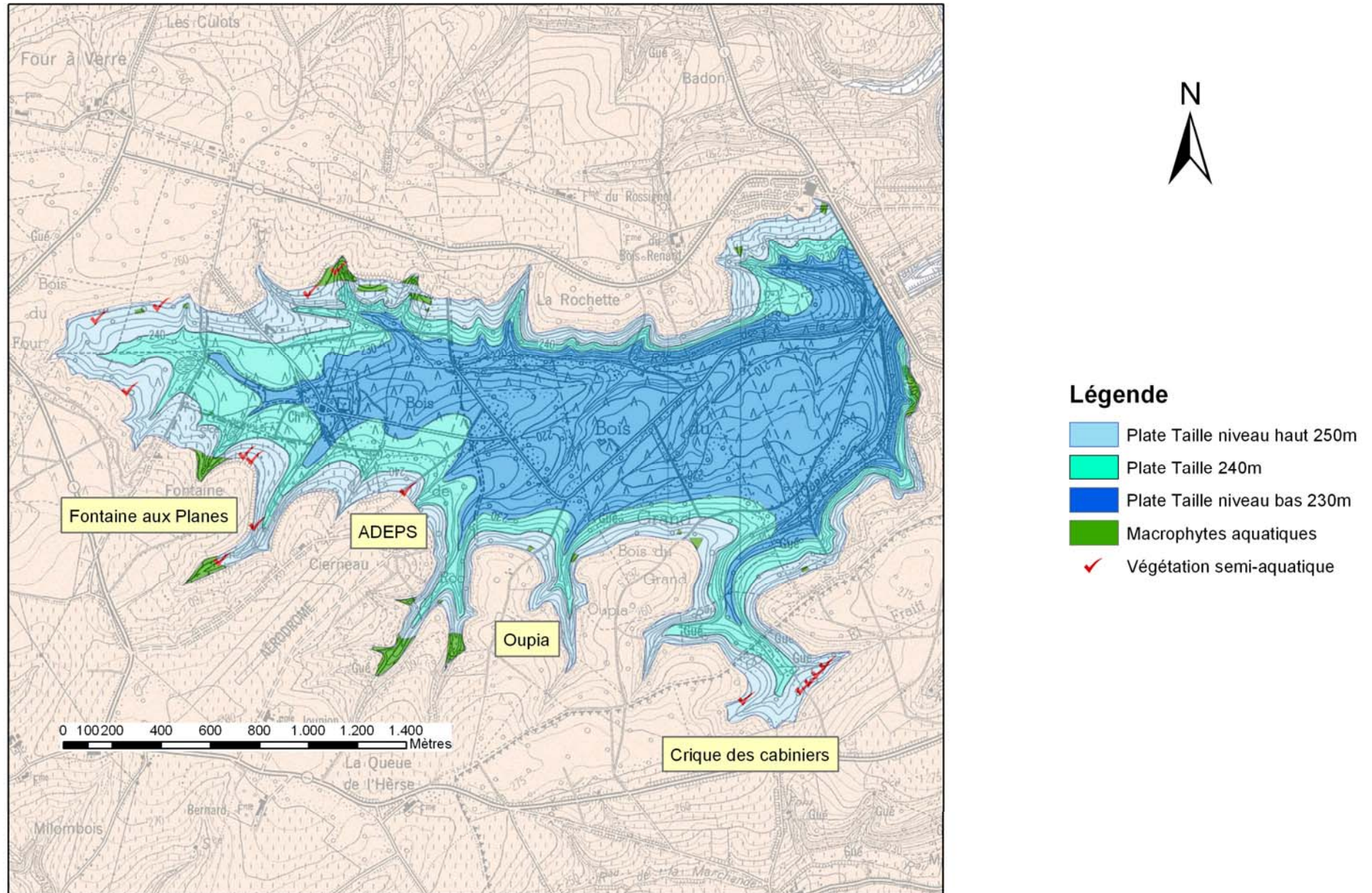


Figure 2.9. Localisation des herbiers, de la végétation semi-aquatique et des limites supérieure et inférieure du niveau d'eau dans le lac de la Plate Taille (source : IGRETEC, 2004).

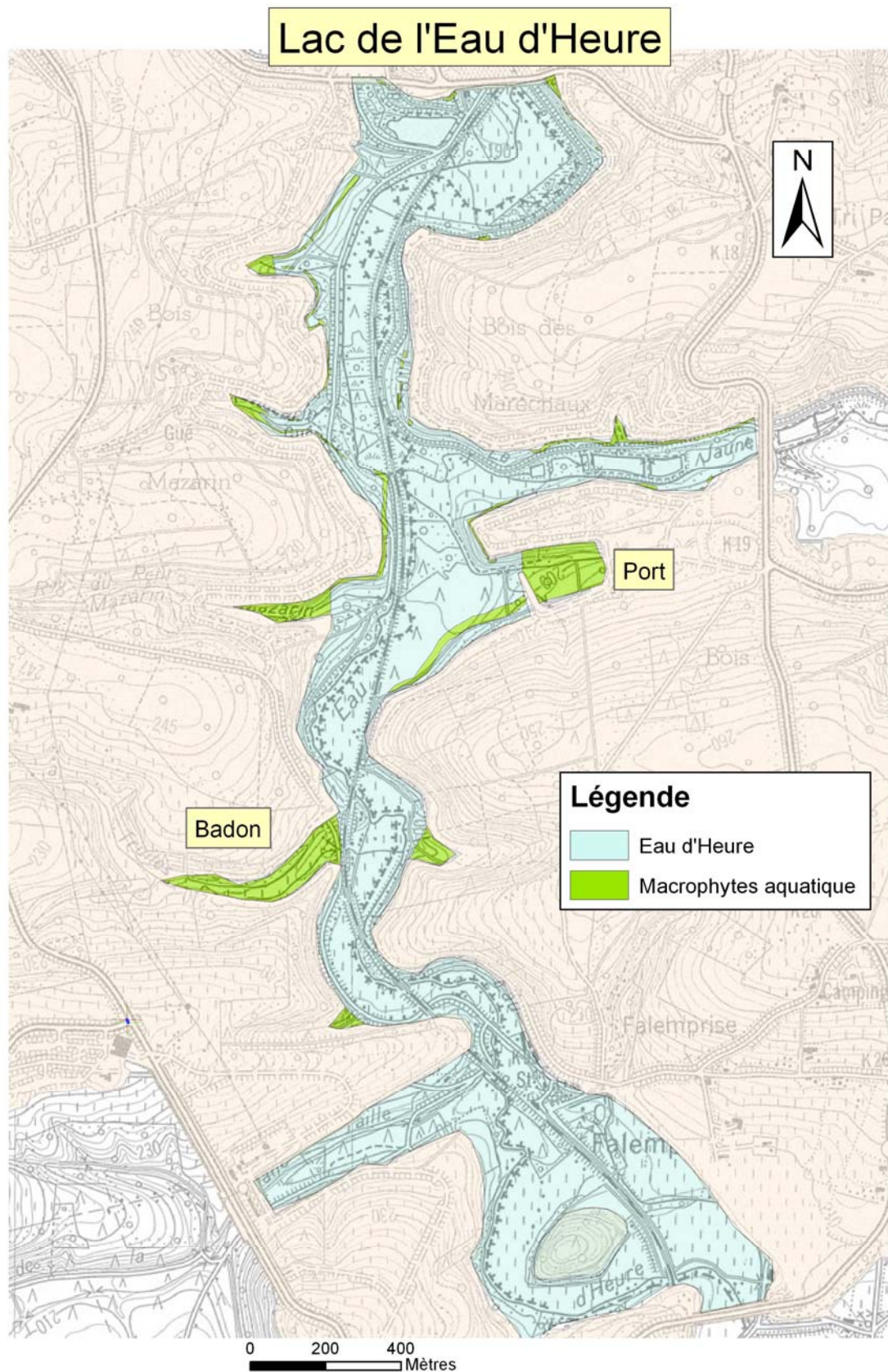


Figure 2.10. Localisation des herbiers dans le lac de l'Eau d'Heure (source : IGRETEC, 2004).

Le niveau des lacs est un facteur très important pour le bon développement des herbiers ; il est donc fondamental de connaître la fréquence d'immersion des différentes zones des lacs. Les données statistiques du niveau d'eau, gentiment fournies par le MET¹, nous ont permis de calculer les fréquences d'immersion de certains seuils définis, au cours des 25 dernières années (1982 à 2006). Elles sont présentées à la **figure 2.11**. Dans le cas de la Plate Taille, les seuils correspondent aux courbes de niveau tandis que dans l'Eau d'Heure, les limites de calcul ont été placées tous les mètres. Ceci tient au fait que les courbes de niveaux sont peu lisibles dans ce lac et que les variations de niveau sont de plus faible amplitude.

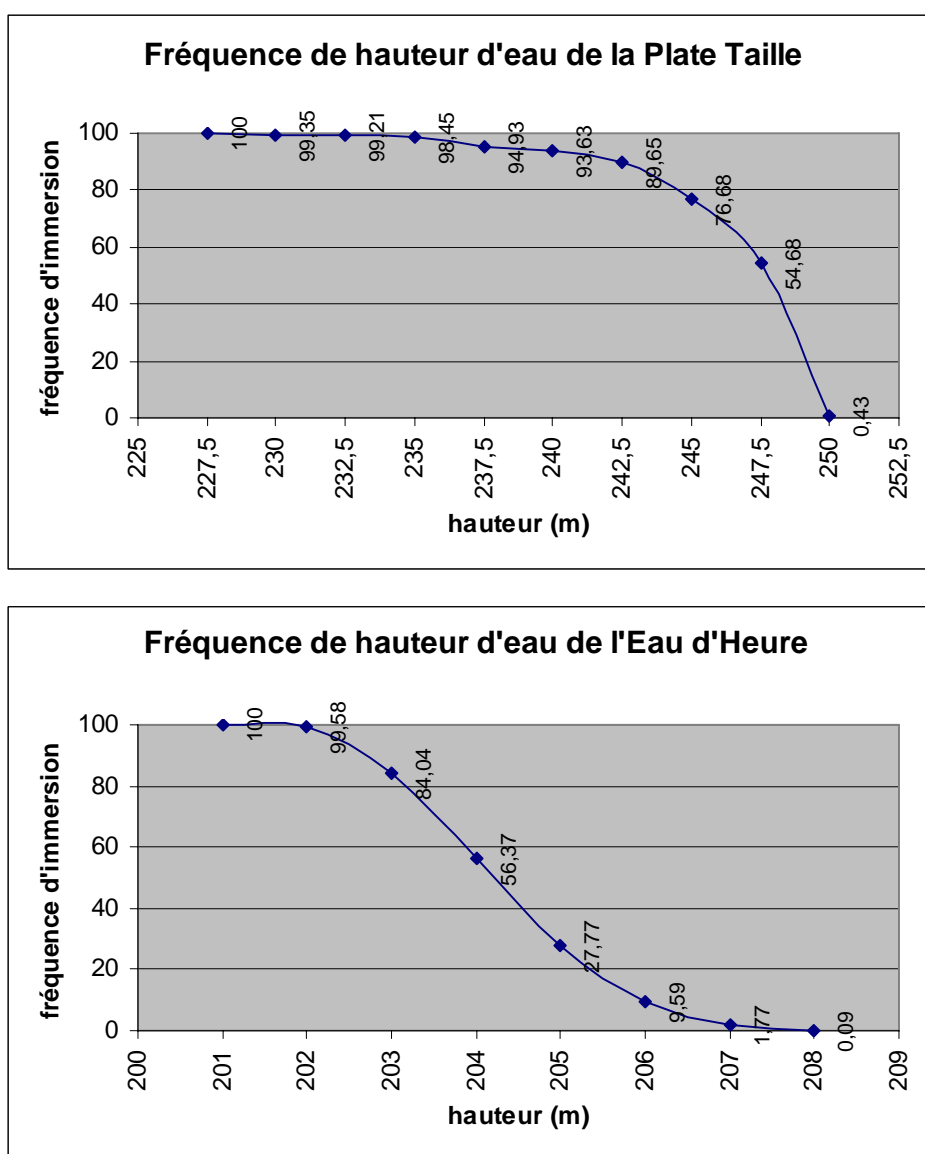


Figure 2.11. Fréquence de la hauteur d'eau pour les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure entre 1981 et 2006 (source : Ministère de l'Équipement et des Transports).

¹ Ministère wallon de l'Équipement et des Transports - Direction générale des Voies hydrauliques - Direction des Etudes hydrologiques et des Statistiques

En analysant les données reprises à la **figure 2.11**, on remarque que, pour la Plate Taille, la limite de 240m a été sous eau en moyenne pendant 93,63% du temps ces vingt-cinq dernières années. La très grande majorité des herbiers se trouve au-dessus de ce seuil (**Figure 2.9**) et présente des temps d'immersion plus faibles. Les données suivantes permettent de se rendre compte de la vulnérabilité des herbiers aux baisses de niveau :

- Approximativement 80% de la surface des herbiers se trouve au-dessus de 242,5m (fréquence d'immersion : 89,65%).
- 50% au-dessus de 245m (fréquence d'immersion : 76,68%).
- 25% au-dessus de 247,5m (fréquence d'immersion : 54,68%).

Autrement dit, la surface des herbiers a été réduite à 20% pendant 10 % du temps, 50% pendant 25% du temps et à 75% pendant 45% du temps.

3 Les frayères artificielles

3.1 Introduction

Nous avons réalisé une revue bibliographique approfondie à partir des articles scientifiques et rapports techniques internationaux afin de rassembler toutes les informations disponibles sur les frayères artificielles flottantes adaptées aux poissons phytophiles. Force a été de constater que, de façon générale, peu d'auteurs ont publié dans ce domaine et que la majorité des travaux ont été réalisés il y a plus de dix ans. Vu le faible nombre de sources d'informations, nous avons pris le parti de les analyser en profondeur. Toutefois, devant la redondance de certaines données, nous n'avons pas souhaité développer dans le détail les résultats de chaque étude pour nous focaliser plutôt sur les conclusions des travaux disponibles dans la littérature scientifique et technique.

3.2 Les différents types de structures

Les frayères artificielles sont des structures mises en place pour favoriser la reproduction des poissons. Leur réalisation est différente suivant les exigences des différentes espèces. Elle consistera en l'aménagement d'une gravière ou d'un chenal de ponte pour les salmonidés tandis qu'il s'agira de placer des herbiers naturels ou artificiels pour les espèces phytophiles telles que le brochet et les cyprinidés. Les frayères artificielles pour espèces phytophiles peuvent être classées suivant leur mode d'attachement : les frayères fixes et les frayères flottantes.

3.2.1 Frayères fixes

Les frayères fixes sont des dispositifs qui sont placés, par exemple, le long de berges très urbanisées des canaux (**Figure 3.1**). Ce type de frayères ne peut être efficace que dans des milieux à niveau d'eau constant ou du moins, où de faibles variations de niveau d'eau sont observées. Selon Luchetta (1991), elles doivent répondre à différents critères :

- Être durables, solides et souples
- Être maniables avec protection contre les vandales
- Être réglables en fonction du niveau d'eau
- Permettre la navigation

- S'intégrer dans le paysage

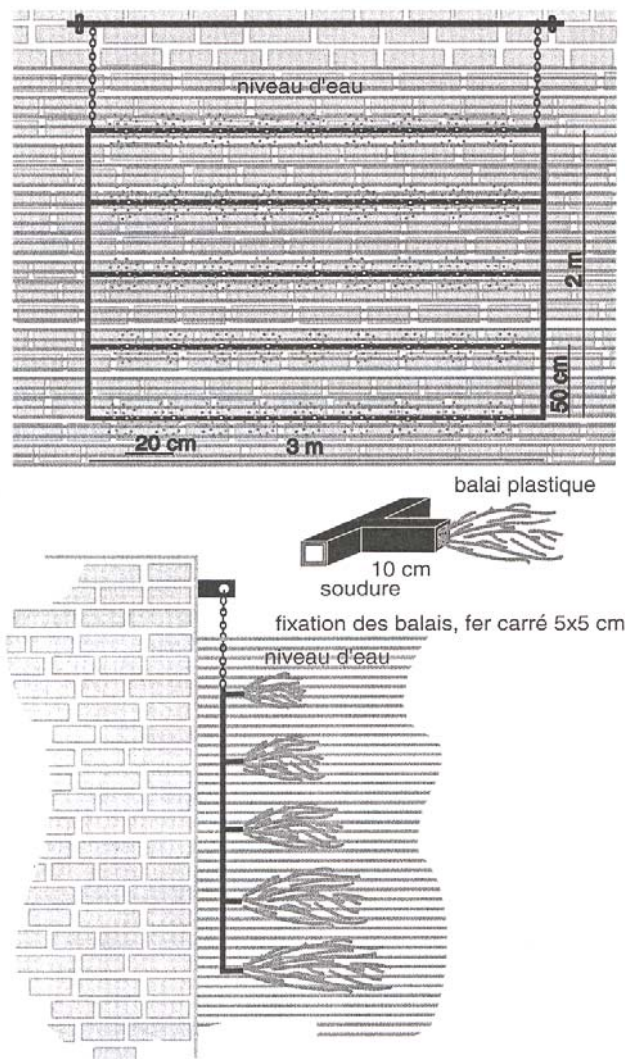


Figure 3.1. Frayères artificielles fixes (Luchetta, 1991).

En situation de marnage, elles ne sont pas recommandées.

3.2.2 Frayères flottantes

Les frayères flottantes sont des dispositifs qui permettent de suivre les variations du niveau d'eau, ce qui assure leur immersion continue et permet leur bon fonctionnement dans des milieux subissant un marnage important.

Peu d'études ont été réalisées dans le domaine des frayères artificielles consacrées aux poissons phytophiles. Parmi celles-ci, il semble que les travaux du professeur Gillet de la Station d'Hydrobiologie lacustre de l'INRA à Thonon-les-bains, fassent référence et ce malgré le fait qu'elles sont déjà assez anciennes (1989b). Il présente différents types de

structures dont la base est composée de cadres métalliques recouverts de grillages sur lesquels différentes sortes de substrats sont fixées. Plusieurs manières de procéder à l'amarrage peuvent être envisagées : elles peuvent coulisser le long de poteaux (**Figures 3.3 à 3.6**) ou être maintenues en place par des cordes et des poids (**Figures 3.7 à 3.11**). Dans ces cas, des bouées assurent la flottaison de l'ensemble des dispositifs.

Les **figures 3.2 et 3.3** mettent en évidence la structure utilisée dans le cas des frayères maintenues en place par des poteaux enfoncés dans le fond du plan d'eau. Ce type de dispositif grâce à ses mouvements limités, n'occasionne pas d'emmêlements. Il convient donc particulièrement bien pour l'implantation de grandes surfaces de frayères.

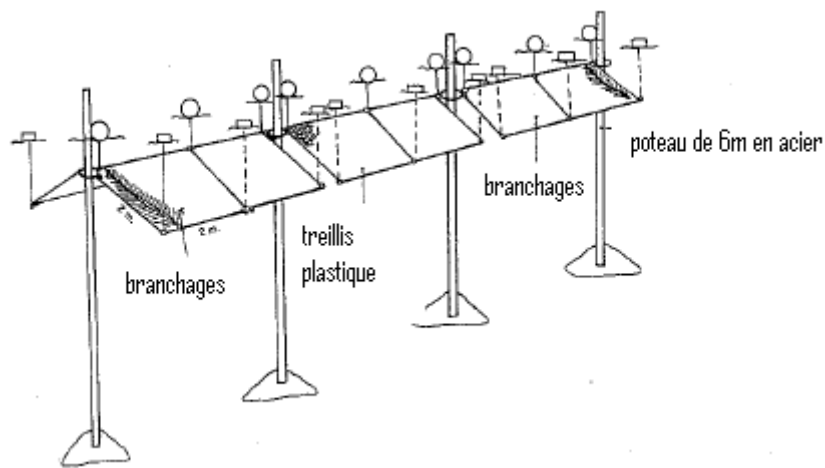


Figure 3.2. Frayères artificielles flottantes maintenues en place par des poteaux (Gillet, 1989b).

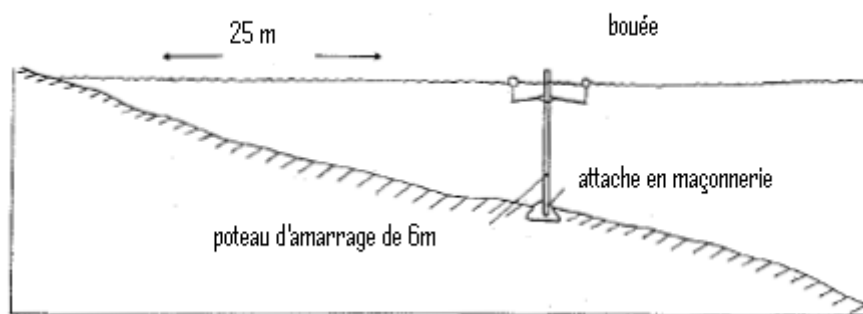


Figure 3.3. Coupe transversale de frayères artificielles flottantes maintenues en place par des poteaux (Gillet, 1989b).

Les **figures 3.5 et 3.6** illustrent le mode de fonctionnement de ce type de frayères et plus particulièrement la façon dont les cadres supportant le substrat de pont coulisent le long des poteaux.

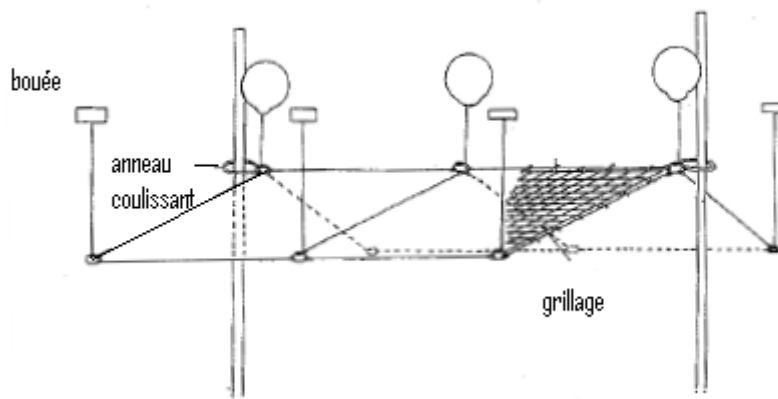


Figure 3.4. Plan de l'armature des frayères artificielles flottantes (Gillet, 1989b).

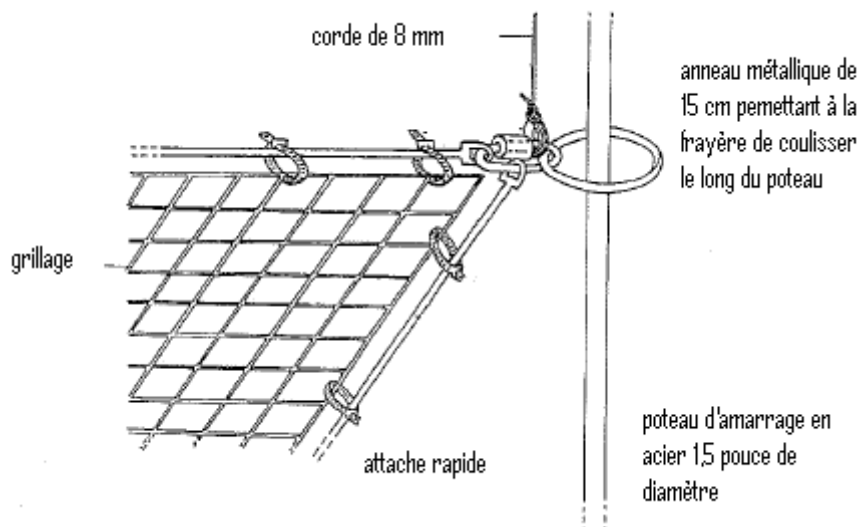


Figure 3.5. Détail de l'armature des frayères artificielles flottantes (Gillet, 1989b).

Les **figures 3.7 à 3.11** présentent un type de frayères artificielles flottantes maintenues par des poids fixés au bout de cordes. Ce type de dispositif ne nécessite pas d'aménagements aussi lourds que le premier type décrit plus haut et peut donc être déplacé en fonction des changements éventuels du milieu. Plusieurs adaptations sont présentées dans la littérature. Gillet (1989b) décrit un modèle où une bouée immergée assure la tension du câble quelque soit le niveau de l'eau ce qui permet aux frayères de ne pas s'échouer (**Figure 3.7**). L'auteur précise que des branchages peuvent venir se coincer dans les câbles et perturber le bon déroulement des opérations.

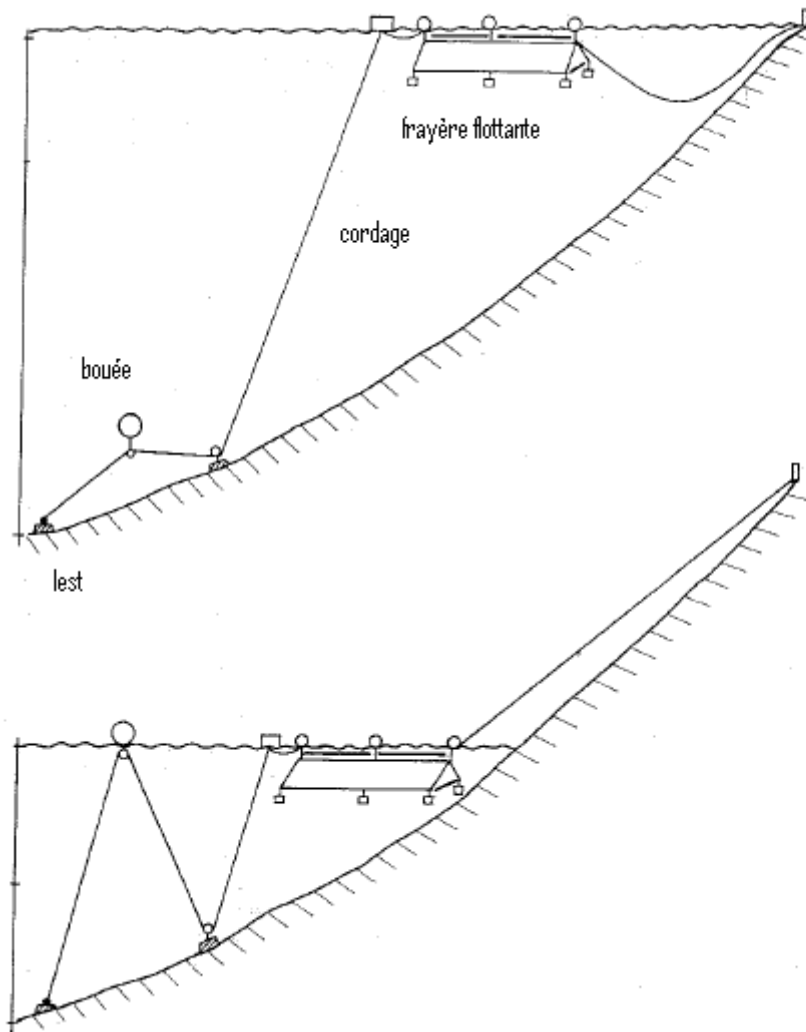


Figure 3.6. Système d'amarrage utilisé pour les frayères artificielles flottantes (Gillet, 1989b).

Un autre modèle est proposé par Arrignon (1976): il s'agit d'une structure assez similaire à la précédente mais positionnée de façon horizontale (**Figure 3.8**). Luchetta *in* Leroy (1983) propose une structure identique (**Figure 3.9**). Une variante de ces modèles est utilisée dans les lacs de Robertville et de Warfaaz (**Figure 3.10**): le cadre supportant le substrat est maintenu à bonne profondeur par une bouée fixée par des câbles reliés à ses quatre coins au lieu d'être positionnée sur les bords comme pour les autres modèles (Herman, 1993). Une dernière adaptation de ce type de frayère a été décrite par Poncin (1996) où un tube de PVC sert de flotteur à un grillage sur lequel sont attachées des branches d'épicéa (**Figure 3.11**).

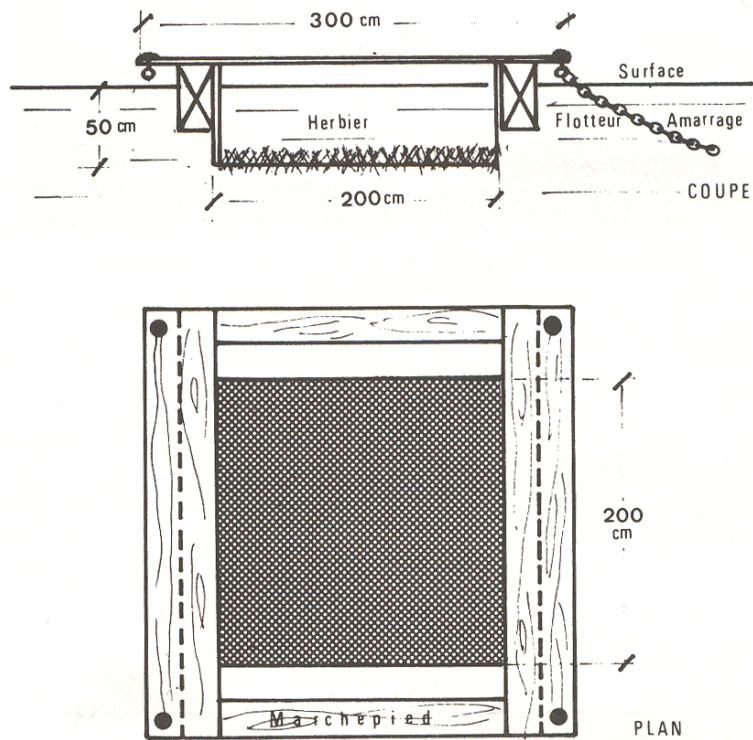


Figure 3.7. Croquis d'une frayère flottante pour brochet et cyprinidés (Arrignon, 1976).

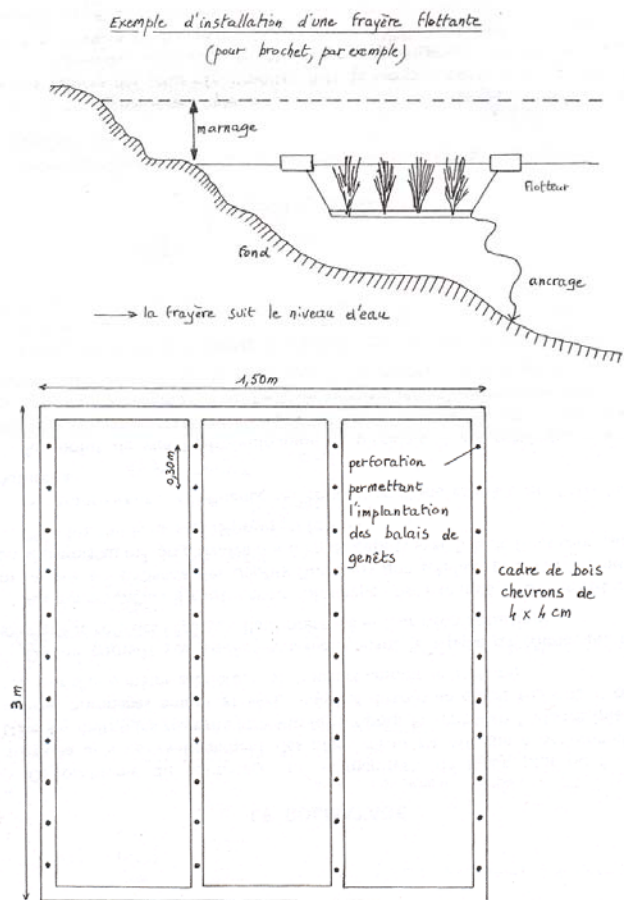


Figure 3.8. Frayère artificielle flottante (Luchetta in Leroy, 1983)



Figure 3.9. Frayères artificielles flottantes utilisées à Robertville et Warfaaz par la Fédération des Sociétés de Pêche Vesdre-Amblève (Herman, 1993).



Figure 3.10. Frayères artificielles flottantes, un tube de PVC sert de flotteur à une armature grillagée dans laquelle sont entrelacées de branches d'épicéa naturel (Poncin, 1996).

3.3 Les substrats

3.3.1 Nature et structure

Plusieurs auteurs ont étudié les performances de divers types de substrat utilisés dans les frayères artificielles. Les principaux substrats étudiés peuvent être répartis en deux grandes catégories :

- Les substrats naturels : épicéa, mousses (polytric), cyprès, genévrier, genêt et d'autres branchages comme ceux du saule et du tilleul.
- Les substrats artificiels : branches d'épicéa synthétique, Enkamat[®] (nom commercial désignant un treillis en plastique noir), diverses plantes en plastique (élodées, fougères...) et en fibres synthétiques.

D'après Gillet (1989b) et Gillet et Dubois (1995), il est important, et ce quelque soit le type de substrat sélectionné, qu'il forme un réseau dense afin de retenir les œufs ; néanmoins, il doit être suffisamment lâche pour laisser circuler l'eau à travers. Il faut également qu'il résiste le mieux possible au colmatage et qu'il ne se dégrade pas trop rapidement dans l'eau. Selon lui, parmi les substrats naturels, les résineux présentent des structures assez bien adaptées à la ponte des poissons et possèdent des aiguilles qui résistent assez longtemps à l'immersion.

Cette résistance serait due à la cuticule cireuse qui recouvre les aiguilles (Nash *et al.*, 1999). Selon Cazin (1994) la durabilité des branches d'épicéas varie entre 1 et 4 mois suivant la température de l'eau. Il souligne que ce laps de temps peut s'avérer trop court pour offrir des conditions de reproduction optimales à des poissons frayant à des périodes différentes. De plus, il précise qu'il n'est pas toujours facile de se procurer des branches d'épicéa à la période de mise en place des frayères et qu'elles peuvent s'avérer fort lourdes ce qui peut les rendre difficiles à manipuler. Pour éviter ces inconvénients dus à l'utilisation de substrats naturels, il peut être recommandé d'utiliser des substrats artificiels qui présentent l'avantage d'être réutilisables d'une année à l'autre, d'être plus légers, d'être disponibles à toute saison et d'être plus facilement nettoyables en cas de colmatage. Néanmoins, il faut que le gestionnaire soit ouvert à l'utilisation de substrats artificiels et à leur introduction dans des hydrosystèmes plus ou moins naturels (intégration dans le paysage, etc.)

La structure des substrats joue un rôle fondamental et conditionne la densité d'œufs qui vont être pondus. Ceci est particulièrement vrai dans le cas du brochet dont les œufs, moins collants que ceux des cyprinidés tels que la brème et le gardon, ont besoin d'une structure plus complexe afin de pouvoir se maintenir en place. Par exemple, Gillet (1989b) rapporte que les brochets pondent préférentiellement sur des branches d'épicéa plutôt que sur des branches de cyprès dont la structure est beaucoup moins complexe. Herman (1993) constate le même phénomène pour des substrats artificiels.

Il semble que les matériaux naturels et plus particulièrement les branches d'épicéa et de genévrier soient plus attractifs pour les poissons. En effet, les densités d'œufs observées sur ces deux substrats sont généralement plus importantes que pour tous les autres types de substrat (Gillet, 1989b ; Herman, 1993 ; Gillet et Dubois, 1995 ; Nash *et al.*, 1999). Il est intéressant de constater qu'à structure égale, l'épicéa naturel est plus attractif que son homologue artificiel. Il en découle que la structure n'est pas le seul facteur qui influence le choix des poissons. En effet, Arrignon (1972 *in* Arrignon 1998) rapporte que les brochets sont attirés vers leurs lieux de fraie, entre autres, par les odeurs provenant des transformations organiques liées à l'immersion de végétaux lors de crues. Cette situation est sans doute reproduite lors de la mise en place de frayères pourvues d'un substrat naturel.

3.3.2 La couleur

La couleur ne semble pas influencer le choix des poissons qui déposent aussi bien leurs œufs sur des fibres vertes, bleues ou rouges (gardon et carpe) (Gillet, 1989b ; Cazin, 1994) que sur de l'épicéa synthétique blanc (brème) (Herman, 1993).

3.3.3 Produits hormonaux comme attractants

Gillet (1989b) a étudié la réaction des perches et des gardons lorsque des produits hormonaux sont placés à proximité des frayères. Cet ajout de phéromones ne semble pas influencer le comportement reproducteur car aucune différence n'a pu être observée.

3.3.4 L'inclinaison

L'inclinaison des frayères ne semble pas influencer les gardons qui frayent aussi bien sur un substrat vertical qu'horizontal, pour autant que ce dernier se trouve à au moins 1 mètre de profondeur (Gillet, 1989b).

3.3.5 Le colmatage

Chancerel (2003) attire l'attention sur le fait que les frayères artificielles semblent être assez bien adaptées pour tous les poissons dont la durée d'incubation est assez courte et dont les alevins sont rapidement auto-suffisants mais qu'elles présentent des limites pour le brochet. En effet, les alevins de cette espèce sont très vulnérables à la prédation et aux matières en suspension pendant plusieurs semaines après la ponte tant qu'ils restent fixés au substrat. De plus, les frayères artificielles sont très sensibles au « fouling » (développement du périphyton, algues...) ce qui, ajouté à la sédimentation, provoque le colmatage du substrat. Ceci entraîne une inhibition des pontes et augmente la mortalité des œufs et des alevins quand la fraye a tout de même lieu (Gillet, 1989b). Il est important de connaître le mieux possible les habitudes de fraie des poissons présents dans les lieux d'implantation des frayères afin de pouvoir les nettoyer juste avant la date de reproduction. Il est également possible de les installer juste avant la reproduction mais il semble qu'il soit préférable de les placer plus tôt pour que les poissons puissent s'habituer à leur présence.

3.4 Lieux d'implantation

Avant toute chose, il est important de s'assurer que les reproducteurs puissent accéder aux frayères. En cas de marnage, le lieu d'implantation devra être étudié pour que les frayères ne se retrouvent pas à sec même pendant quelques instants. Pour arriver à trouver ce type d'emplacement, il est impératif de connaître le fonctionnement hydrodynamique du plan d'eau.

Il faut également tenir compte de la présence éventuelle d'autres activités (motonautisme, jet-ski, plongée, voile...) sur le site pour minimiser les interférences avec elles.

Il est recommandé d'installer les frayères dans des zones abritées du vent, des vagues et des courants, ces deux derniers facteurs étant contre-indiqués si l'on désire obtenir une fraie de brochet (Machniak, 1975 *in* Gillet, 1989b). Les arrivées d'eaux sont à éviter car elles charrient des débris lors des crues (Gillet, 1989b). Il faut également éviter les zones où il y a de l'érosion des berges. S'il existe un problème de vandalisme, il faut veiller à ce que les dispositifs ne soient pas accessibles facilement et si possible, les placer dans des endroits peu visibles.

4 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du brochet (*Esox lucius* L.)

4.1.1 Reproduction du brochet

La reproduction du brochet est conditionnée par des facteurs météorologiques (température), hydrologiques (crues) et environnementaux (végétation). Une augmentation de la température combinée à une photopériode croissante ainsi que la présence obligatoire d'une végétation abondante et spécifique sont les principaux stimuli environnementaux qui déclenchent la reproduction (Bruslé et Quignard, 2001).

Les femelles pondent entre 15.000 et 45.000 œufs par kg de poids vif sur divers supports végétaux. Elles apprécient tout particulièrement les végétaux herbacés des zones inondées (lit majeur) des fleuves, rivières et marais (Bruslé et Quignard, 2001).

La ponte a lieu pendant les heures les plus chaudes de la journée et de manière fractionnée. En effet, la femelle dépose ses œufs en plusieurs fois sur la végétation en les disséminant. Le support de ponte et la faible densité des œufs protègent quelque peu ceux-ci des prédateurs en les rendant moins visibles (Bruslé et Quignard, 2001).

En général, la reproduction du brochet a lieu au printemps, lorsque les températures de l'eau atteignent 8°C à 12°C (Casselman et Lewis, 1996). La période précise où la ponte se produit est fonction de l'aire géographique ainsi que du type d'eau. La reproduction commence à la fonte des glaces pour les zones les plus septentrionales mais elle peut avoir lieu de février à juin selon la latitude. En France, par exemple, la majorité des populations vivant en étangs se reproduisent en mars tandis que celles des grands lacs, dont les eaux se réchauffent plus lentement, se reproduisent un mois plus tard. Selon Gillet (1989a) la date de reproduction des poissons, pour un endroit particulier, ne diffère pas de plus de 15 jours d'une année à l'autre. La reproduction précoce du brochet permet aux juvéniles d'être suffisamment grands pour pouvoir se nourrir des juvéniles d'autres espèces à la reproduction plus tardive (Everard, 2006). Cette situation est typique de nombreux prédateurs.

Les zones de fraie les plus propices sont peu profondes, protégées des courants et où une végétation inondée est présente. Le brochet marque une préférence pour la végétation herbacée. Toutefois, à défaut, il peut utiliser d'autres types de végétation. Celle-ci doit être à même de maintenir les œufs loin du fond où l'on peut rencontrer des conditions d'anoxie, dommageables à la survie et au développement de ces derniers (Casselman et Lewis, 1996).

Casselman et Lewis (1996) ont développé un système pour classer, ordonner et évaluer les différentes caractéristiques physiques des lieux de fraie du brochet, grâce à l'analyse de la littérature scientifique ainsi que par des observations de terrain (**Tableau 4.1**). Ce système souligne l'importance du type de végétation, du niveau de l'eau, de l'exposition solaire de la zone et dans une moindre mesure du type de substrat et des courants d'eau. Il en ressort des matrices qui permettent de comparer les différents habitats.

Tableau 4.1. Facteurs environnementales conditionnant le succès reproducteur du brochet.

Facteurs	Importance relative	Description générale de l'habitat	
		Le plus riche (rang 9)	Le plus pauvre (rang 1)
FRAYERE			
Végétation			
Type	9	Touffes d'herbes et de Carex	
Densité	8	Modérément dense 2-4 touffes par m ²	Plus dense ou moins dense
Niveau d'eau			
Profondeur ¹	9	10-70 cm, en moyenne 20-40 cm	Plus profond ou moins profond
Variation	7	Augmentation graduelle avant la reproduction et stable jusqu'à ce que l'alevin commence à émigrer (6-8 semaines) puis une diminution graduelle	Des fluctuations ou pas d'augmentation avant la reproduction ; une forte baisse juste après la ponte
Exposition du site à l'ensoleillement	6	Protégé, se réchauffant rapidement au printemps, exposé au sud ou à l'ouest	Se réchauffant très lentement au début du printemps, exposé au nord ou à l'est

Connexion hydraulique	4	Multiplés connexions qui permettent, aux géniteurs d'accéder à la zone de fraye, et aux alevins de la quitter lors de la baisse des eaux (décrue)	Peu ou pas de connexions ou des canaux profond où les prédateurs se rassemblent
Type de substrat	3	Résidus de végétation bien oxygénés ; substrat propice au développement des racines des graminées adaptées/tolérantes aux inondations	Débris organiques en décomposition ou tout type de substrat, organique ou inorganique, infertile
Mouvement d'eau	2	Modéré, légère exposition au vent et aux vagues lors des crues	Peu ou pas d'exposition à l'action du vent et des vagues ; exposition extrême à leur action
NURSERIE			
Proximité des zones de reproduction	9	Jointives	Distantes ou séparées des embâcles, barrages...
Végétation submergée et émergente	8	Végétation aquatique submergée et émergente dense (40-90%)	Plus dense ou moins dense
Superficie	6	Très grande ; plus de 10 fois la taille de l'aire de reproduction adjacente	Limitée, égale à l'aire de reproduction adjacente

¹ Ce critère est valable pour les populations nord-américaines parce qu'il existe en Angleterre, dans le lac Windemere, une population de brochets qui fraie à 2-3,5 m de profondeur sur *Elodea*, *Myriophyllum* et *Nitella* (Frost et Kipling, 1967).

Le marnage joue un rôle très important sur l'écologie des poissons, notamment, celle du brochet, en conditionnant leurs habitats de reproduction, l'alimentation, la migration, la croissance, la survie, la composition des communautés et son abondance (Mingeliet al., 2004).

Des niveaux d'eau (cotes) élevés durant la période de ponte suivis de niveaux stables durant la période d'incubation sont associés à un recrutement élevé de brochets (Johnson, 1957). Les

niveaux élevés augmentent les concentrations de nutriments dans l'eau et stimulent la production primaire et secondaire dans les zones inondées. Les proies disponibles pour les larves et alevins sont alors plus abondantes. De plus, la végétation inondée offre un grand nombre d'abris ce qui permet de réduire la prédation et le cannibalisme. Ce phénomène est particulièrement important lorsque des zones épisodiquement inondées se voient recouvertes d'eau. Dans ce cas, la production de jeunes de l'année peut être de 4 à 10 fois supérieure à la production normale (Bodaly et Lysack, 1984). Si ces zones sont inondées fréquemment les années suivantes, le succès reproducteur va en diminuant et peut même devenir nul. En effet, les fréquentes fluctuations de niveau font disparaître toute la végétation de la zone littorale et augmentent la turbidité de l'eau (Nelson, 1978; Groen et Schroeder, 1978). Les niveaux constants sont également peu propices à la reproduction du brochet et particulièrement les niveaux bas et constants (Inskip 1982; Gravel et Dubé, 1980).

La concentration en oxygène dissous influence également les premiers stades de la vie du brochet. Si la concentration en oxygène passe en-dessous de 30-35% de la saturation, l'éclosion des œufs, la survie des embryons et des larves sont fortement réduites (Siefert *et al.*, 1973). Les conditions anoxiques et réductrices sont souvent accompagnées par un dégagement de sulfure d'hydrogène (H₂S) dont une concentration de 4-6µg/L est préjudiciable à la croissance et à la survie des alevins (Adelman et Smith, 1970). Dans tous les cas, la végétation joue un rôle très important en maintenant les œufs hors de la zone d'anoxie.

Les embryons de brochet sont particulièrement sensibles à la sédimentation résultant de la mise en suspension des particules solides par les vagues, le courant et le marnage. Une sédimentation de 1.0 mm par jour sur les œufs conduit à une mortalité supérieure à 97% (Hassler, 1970).

4.1.2 Eclosion et développement

Les œufs font généralement de 2,3 à 2,4 mm de diamètre et sont de couleur jaune-orange. Une membrane adhésive assure leur fixation sur la végétation aquatique. L'incubation dure entre 15 et 30 jours en fonction de la température ou 110 à 130 degrés x jours (Bruslé et Quignard, 2001).

Les conditions hydrométéorologiques des semaines qui suivent la ponte sont cruciales pour le bon développement de l'œuf. Les basses températures (létales à 3°C) ainsi que les grandes fluctuations de température, la turbidité de l'eau et le colmatage sont particulièrement néfastes à la survie de l'embryon (Bruslé et Quignard, 2001; Hassler, 1970).

Immédiatement après l'éclosion, les larves se fixent verticalement sur un support et restent dans cette position pendant 5 à 12 jours (130 degrés x jours). Comme dans le cas de l'œuf, ce phénomène sert à maintenir la larve dans des conditions favorables d'oxygénation (Fuhrmann, 1934a et b; Gihl, 1957; Georges, 1964).

Juste après l'éclosion, les larves de brochet mesurent approximativement 8,5-9 mm pour un poids de 10 à 11 mg. Une fois la réserve vitelline résorbée, les alevins mesurent entre 11 et 14 mm et pèsent environ 12 mg. Ils commencent à s'alimenter activement (alimentation exogène) avant la résorption totale de leurs réserves endogènes (Craig, 1992).

Le recrutement des larves est fonction de leur capacité à (Fuiman & Higgs, 1997) :

1. identifier, éviter et échapper aux prédateurs ;
2. localiser, capturer et digérer une nourriture adéquate ;
3. pouvoir se mouvoir jusqu'aux aires propices à leur développement et éviter les zones défavorables.

Le système sensoriel d'une proie joue un rôle prépondérant dans sa réponse lorsqu'elle subit une attaque de la part d'un prédateur. Celui des larves étant encore peu développé, elles sont vulnérables, ce qui affecte notablement le taux de survie à ce stade (Fuiman, 1989).

Les difficultés rencontrées par les larves pour la localisation, la capture et l'ingestion des proies influencent fortement et négativement leur taux de survie. Au fur et à mesure de leur développement, les larves subissent des transformations physiologiques qui leur permettent de repérer plus facilement leurs proies et de les capturer. L'expérience qu'elles acquièrent intervient également (Fuiman et Higgs, 1997).

Le type de nourriture ingérée est fonction du stade de développement des individus (Schmitt et Holbrook, 1984; Stoner et Livingston, 1984). Par exemple, la force de la mâchoire peut

limiter le type de proie (Wainwright, 1987; Galis, 1993), ces restrictions disparaissant avec l'augmentation de la taille.

La fin de la phase de résorption vitelline, moment où la larve a épuisé ses réserves endogènes et débute son alimentation exogène, est une des périodes cruciales pour la survie.

A partir de ce stade, le régime alimentaire de la larve passe par une séquence de 3 phases trophiques : une première phase planctophage (de 10 à 20 mm), une phase entomophage (de 20-30 mm à 15-20 cm) et finalement la phase ichtyophage (au-delà de 20 cm). Une transition rapide vers l'ichtyophagie est favorisée par l'abondance de poissons-proies et par le manque d'insectes dans le milieu (Bruslé et Quignard, 2001). Au cours de chacune de ces phases, l'alevin occupe une position différente dans le réseau trophique de l'écosystème. Le changement de régime a lieu quand le type de proies ne satisfait plus les besoins de l'individu, notamment son bilan énergétique (énergie de la proie ingérée/énergie dépensée pour la capturer) n'est plus suffisamment grand (Schlumberger, 2002). Les étapes peuvent se superposer les unes aux autres, il ne s'agit pas d'un changement brutal. La succession des phases trophiques peut ne prendre que quelques semaines si la croissance du brochet est rapide (Bry *et al.*, 1995).

Le cannibalisme est responsable de fortes mortalités au sein des populations de brochets. Il peut se produire dès le plus jeune âge, à partir de la taille de 74 mm selon Bry *et al.* (1995).

4.1.3 Caractéristiques de l'habitat des larves

Les caractéristiques de l'habitat de larves de brochet ont été beaucoup moins étudiées que celles du fraie et ce principalement pour des raisons techniques et méthodologiques. Ce manque de connaissance peut porter à croire que les exigences de cette phase sont moins importantes ou limitantes pour le recrutement naturel que celles liées à la fraie, ce qui est tout à fait erroné (Casselman et Lewis, 1996).

Les larves grandissent rapidement, gagnent en activité et augmentent leur espace vital. Elles se dispersent vers des zones d'eau plus profondes où pousse une végétation plus ou moins abondante. Celle-ci joue un rôle important en favorisant le taux de survie des larves en leur

procurant un refuge contre les prédateurs. Elles marquent une préférence pour la végétation submergée par rapport à la végétation émergente et flottante intercalée (Casselman et Lewis, 1996). Selon Anderson (1993) les densités intermédiaires de couverture végétale sont optimales, et les jeunes de l'année préfèrent les combinaisons de végétation submergée et émergente à des densités comprises entre 20% et 50% de la surface totale. Ces densités intermédiaires permettent au brochet de chasser tout en limitant le cannibalisme. Anderson (1993) a observé une préférence pour des espèces végétales telles que *Myriophyllum sp* et *Potamogeton sp*. (**Figure 2.8**).

Quelques études montrent l'existence d'une relation directe entre l'âge/la longueur des jeunes de l'année et la profondeur d'eau où ils préfèrent se maintenir : les individus plus grands vivent à des profondeurs plus importantes (Casselman et Harvey, 1973). Cette relation semble être moins importante chez les adultes, puisqu'ils sont présents dans une vaste gamme de profondeurs. D'une manière générale on peut dire que pendant la première année, un accroissement de taille de 10 mm représente un accroissement de profondeur de 10 cm et ce jusque 150 mm de longueur (Casselman & Lewis, 1996).

La température optimale de croissance des alevins est de 25,6°C (Hokanson *et al.*, 1973). Il semble que cette température optimale diminue avec l'âge (Casselman et Lewis, 1996).

Les alevins semblent plus tolérants que les adultes aux diminutions de concentration en oxygène et montrent des valeurs critiques plus basses (Casselman et Harvey 1975).

4.1.4 Caractéristique de l'habitat des juvéniles et des adultes

Les brochets adultes se trouvent, spécialement pendant l'été, dans des eaux relativement peu profondes (normalement < 4 m mais parfois jusqu'à 12 m), relativement claires, fraîches, bien oxygénées et munies d'une couverture végétale (Casselman & Lewis, 1996).

Plusieurs expériences ont permis d'observer une relation entre la présence de brochets et la densité végétale. Il est apparu que la majorité des brochets se trouvent dans de zones aux densités en macrophytes comprises entre 35 et 80% de la surface totale (Randall *et al.*, 1996). Une densité minimale de 30% est indispensable pour assurer la présence d'une population de brochet (Grimm et Backx's, 1990). Selon Holland et Huston (1984), les juvéniles évitent les zones trop denses en macrophytes pour ne pas être affectés par le manque d'oxygène associé à

de tels assemblages (en fin de nuit-début de matinée). Les plus grands brochets se concentrent dans les zones où la densité de la végétation est faible tandis que les individus plus jeunes occupent principalement des zones où la végétation se densifie (Casselman et Lewis, 1996).

Le type de macrophyte préféré varie en fonction du stade de développement des individus : végétation émergente pour la fraie, végétation flottante et submergée pour les juvéniles et végétation submergée pour les adultes (Casselman et Lewis, 1996).

Le brochet, prédateur visuel, est principalement actif pendant la journée avec un pic d'activité au crépuscule. Il s'embusque dans la végétation et attend qu'une proie passe à proximité. La végétation assure donc un rôle double : servir de refuge pour les individus de taille réduite et assurer le camouflage des brochets en action de chasse.

Malgré sa préférence pour les zones peu profondes comportant des macrophytes (Diana *et al.*, 1977 ; Inskip, 1982 ; Chapman et Mackay, 1984a ; Cook et Bergersen, 1988), un grand piscivore comme le brochet a tout avantage à adapter son utilisation de l'habitat en fonction de différents facteurs tels que la disponibilité en proies (Casselman & Lewis, 1996). Dans des études sur la distribution du brochet, Chapman et Mackay (1984b) ont démontré la versatilité du brochet dans le choix de son habitat, même si une préférence pour les zones avec macrophytes a été observée.

Cook & Bergersen (1988), lors de leurs études sur l'utilisation des macrophytes par les brochets réalisées dans le Colorado, ont observé des préférences différentes selon le sexe des individus : les mâles fréquentent les zones à *Potamogeton spp.* en mélange avec d'autres macrophytes tandis que les femelles préfèrent les herbiers composés de *Potamogeton spp.*, *Elodea canadensis* ou *Ceratophyllum demersum* (**Figure 2.8**).

4.1.5 Végétation et cycle de vie du brochet

La présence de végétation aquatique est donc cruciale dans le cycle vital du brochet (**Figure 4.1**). Cette végétation ne sert pas uniquement pour la fraie mais influence tous les stades de développement du brochet. Les brochets de taille inférieure à 54cm sont extrêmement dépendants de la végétation car leur vie est strictement liée à celle-ci. Seuls les plus grands individus peuvent bouger librement et s'affranchir quelque peu de son couvert; qu'ils retrouvent néanmoins pour la fraie (Grimm & Klinge, 1996).

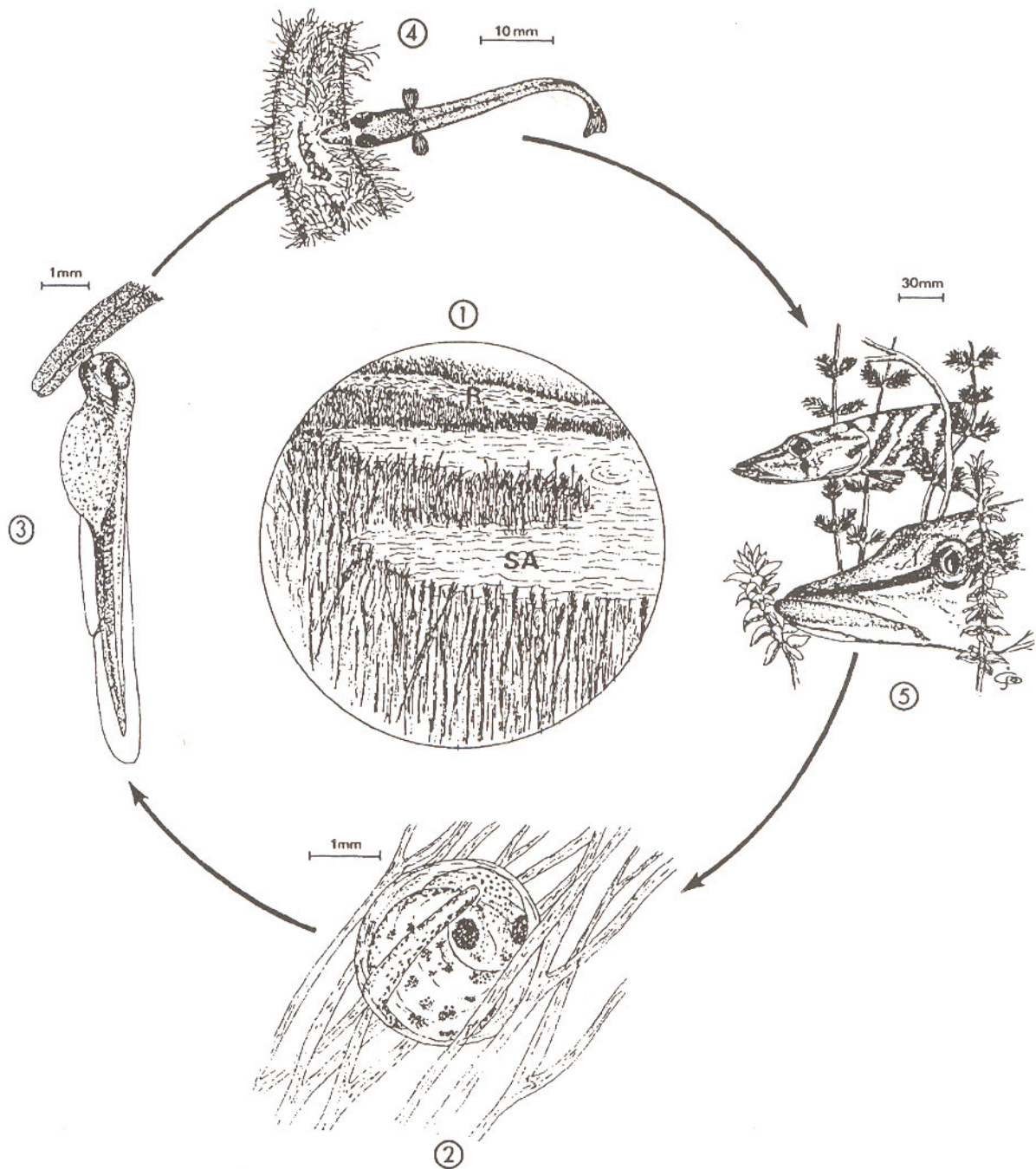


Figure 4.1. Importance de la végétation dans le cycle du brochet : (1) zone de fraie, (2) œuf attaché à la végétation aquatique, (3) embryon libre attaché à la végétation par des papilles adhésives, (4) prédation de petits brochets sur des larves de *Chironomidae* et (5) utilisation de la végétation pour chasser et comme protection contre la prédation (Bry, 1996). La végétation est utilisée comme support pour les œufs et les maintient éloignés des conditions anoxiques du fond et les place hors de vue des prédateurs. Cette relation étroite continue après l'éclosion des œufs car elle est utilisée comme support de fixation pour les larves et assure les mêmes fonctions que pour les œufs. A partir d'une taille de 20mm les brochets quittent leur lieu de naissance pour se rendre dans des zones à la végétation plus éparse. Ce mouvement est principalement dû à l'abaissement du niveau des eaux (Royer, 1971; Massé *et al.*, 1991), à une augmentation des températures (Massé *et al.*; 1988 *in* Craig, 1992), à l'intensité lumineuse (Hunt & Carbine, 1951) et à la compétition pour la nourriture (Forney, 1968).

En fonction de la classe d'âge étudiée, on observe des différences dans le type de végétation et la période à laquelle elle est utilisée. Les résultats de Grimm & Klinge (1996) sont présentés au **tableau 4.2**.

Tableau 4.2. Variation dans l'utilisation de la végétation aquatique lors des différents stades du cycle du brochet (Grimm & Klinge, 1996).

Phase du cycle vital	Type de végétation	Localisation	Période
Reproduction des brochets adultes	Inondée/émergente	Zone peu profonde et protégée, zone rivulaire, zone inondée	Mars-mai
Croissance : 0+ jusque 15 cm	Inondée/émergente	Zone peu profonde et protégée, zone rivulaire, zone inondée	Mai-juin
Croissance : 0+ entre 15 et 35 cm	Émergente et submergée	Zone rivulaire, eaux libres	Juin-octobre
Hivernage	Inondée/émergente	Zone peu profonde et protégée, zone rivulaire, zone inondée	Novembre-mars

La sélection de l'habitat peut être expliquée par les facteurs suivants :

- Lutte contre la prédation. Les petits brochets choisissent des zones peu profondes et couvertes de végétation pour s'y cacher (Werner *et al.*, 1977).
- Relations trophiques. Les invertébrés consommés par les petits brochets sont plus abondants dans les zones riches en végétation (Makowecki, 1973).
- Influence de la végétation sur la mobilité. Les zones où la végétation est dense peuvent constituer des barrières physiques pour les grands brochets et les empêcher de s'y mouvoir facilement (Chapman & Mackay, 1984b).

De nombreuses plantes ont été observées comme substrats pour la reproduction du brochet. On peut les classer dans les catégories suivantes (Bry, 1992) :

- Végétation terrestre temporairement et partiellement submergée. C'est généralement le cas des *Gramineae* (e.g. *Andropogon spp.*; *Eragrostis spp.* ; *Stipa spp.*).
- Végétation temporaire, typique des zones de marnage tels que des *Juncaceae* (e.g. *Juncus ranarius*) et quelques *Cyperaceae* (e.g. *Eleocharis ovata*).
- Plantes helophytes (plantes caractérisées par une base submergée). Dans ce groupe on peut inclure quelques *Gramineae* (*Phalaris sp.*, *Phragmites sp.*), *Typhaceae* (*Typha sp.*) et *Juncaceae* (*Juncus effusus*).
- Plantes amphiphytes, espèces présentant des formes terrestres et aquatiques : des *Gramineae* comme *Agrostis stolonifera*, *Glyceria fluitans* et des *Labiaceae* comme *Mentha aquatica*.
- Plantes hydrophytes, véritables macrophytes aquatiques. Parmi eux on trouve des espèces fixées au sédiment comme *Nuphar sp.* et *Elodea canadensis*, et des espèces libres comme *Ceratophyllum demersum*.
- Végétation en décomposition.

La **figure 4.2** représente la structure type de l'habitat dont le brochet à besoin pour se reproduire et croître pendant les premières étapes de vie. On peut y observer une combinaison des catégories mentionnées ci-dessus. Ces assemblages floristiques fournissent une protection aux jeunes brochets, mais aussi des abris et une source de nourriture. Par exemple, les invertébrés aquatiques constituent des proies potentielles pour le brochet ; leur abondance et leur diversité sont directement influencé par le nombre et la nature des plantes aquatiques présentes.

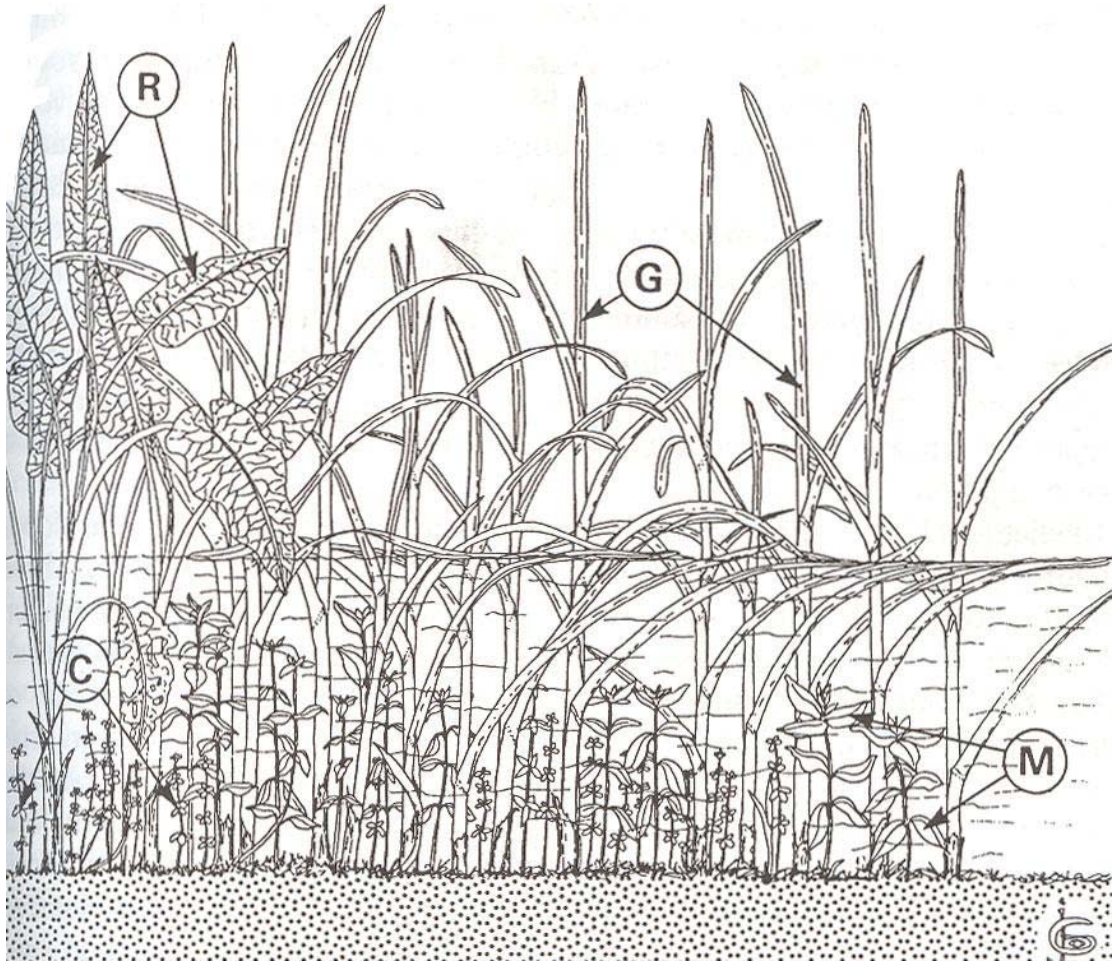


Fig. 4.2. Exemple d'association floristique observable dans les zones de reproduction et de croissance du brochet à la mi-avril, 3-5 semaines après la fraie, dans le nord de la France. La végétation émergente est composée de *Glyceria maxima* (G) et de *Rumex hydrolapathum* (R) ; la végétation flottante de *Glyceria fluitans* et la végétation submergée de *Callitriche sp.* (C) et de *Mentha aquatica* (M) (Bry, 1996).

Bry (1996) reprend les différents types de végétation rencontrée dans les zones de frayères (Tableau 4.3).

Tableau 4.3. Types de végétation aquatique rencontrés dans les zones de fraie du brochet. Le symbole * signale les taxons végétaux qui servent de substrat de ponte (Bry, 1996). Eléments de traduction : lake, lac ; marsh, marais ; stream, rivière ; lakeshore, rivage lacustre.

Type of vegetation		Type of spawning area	Source
Emergent vegetation	Submerged and floating vegetation		
<i>Calamagrostis canadensis</i>	Decaying vegetation Decaying vegetation	Lake-connected ditches Lake tributaries	Carbine (1942a) Clark (1950) Fabricius (1950)
<i>Carex</i> sp. <i>Equisetum</i> sp. <i>Phragmites</i> sp.			
<i>Carex</i> sp.* <i>Eleocharis</i> sp.* <i>Polygonum hydropiper</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Sagittaria</i> spp. <i>Scirpus atrovirens</i> <i>Typha latifolia</i> <i>Zizania aquatica</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Myriophyllum</i> spp. <i>Nuphar variegatum</i>	Lake slough	Franklin and Smith (1963)
<i>Phragmites</i> sp.	<i>Elodea</i> sp.* <i>Littorella</i> sp. <i>Myriophyllum</i> sp.* <i>Nitella</i> sp.* (alga)	Lakeshore	Frost and Kipling (1967)
<i>Agrostis alba</i> <i>Carex</i> sp. <i>Equisetum</i> sp.	Decaying vegetation	Lakeshore	Wilkonska and Zuromska (1967)
	<i>Chara</i> sp. (macroalga) <i>Elodea canadensis</i> <i>Nitella</i> sp.	Lake open water	Wilkonska and Zuromska (1967)
<i>Carex</i> sp.* <i>Eleocharis calva</i> <i>Eleocharis obtusa</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Spartina</i> sp.* <i>Typha</i> sp.	<i>Alisma triviale</i> *	Marsh	Forney (1968)
<i>Agrostis stolonifera</i> * <i>Juncus bulbosus</i> * <i>Phragmites</i> sp.	<i>Apium inundatum</i> * <i>Fontinalis</i> sp.* <i>Hippuris</i> sp.* <i>Mentha aquatica</i> * Broken clumps of <i>Phragmites</i> sp.*	Lake shallows	Kennedy (1969)
<i>Andropogon halii</i> * <i>Andropogon scoparius</i> <i>Eragrostis trichoides</i> * <i>Phragmites</i> sp. <i>Sagittaria</i> sp. <i>Scirpus</i> sp. <i>Stipa spartea</i> * <i>Typha</i> sp.	<i>Bouteloua curtipendula</i> * <i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Chara</i> sp.* <i>Elodea</i> sp.* <i>Myriophyllum spicatum</i> <i>Najas flexilis</i> * <i>Potamogeton</i> sp.* <i>Utricularia</i> sp.* Dead vegetation	Lakes	McCarragher and Thomas (1972)
<i>Carex</i> sp.* <i>Scirpus validus</i> <i>Typha</i> sp.	<i>Nuphar</i> sp. <i>Nymphaea tuberosa</i> <i>Potamogeton amplifolius</i> <i>Potamogeton pectinatus</i> <i>Utricularia vulgaris</i> <i>Vallisneria americanus</i> *	Lake	Priegel and Krohn (1975)
<i>Carex</i> sp. <i>Chamaedaphne calyculata</i> <i>Typha</i> sp.		Marsh	Fago (1977)

Type of vegetation		Type of spawning area	Source
Emergent vegetation	Submerged vegetation		
<i>Phalaris arundinacea</i>		Marsh	Fago (1977)
Brush Buttonbrush <i>Typha</i> sp.		Lake	Alldrige and White (1980)
Reeds	Meadow vegetation	Lake shallows	Kozmin (1980)
	<i>Fucus vesiculosus</i> (marine algae)	Estuaries	Lehtonen and Toivonen (1981)
<i>Glyceria maxima</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Rumex hydrolapathum</i>	<i>Callitriche</i> spp. <i>Glyceria fluitans</i> <i>Mentha aquatica</i>	Shallow ponds	Bry and Souichon (1982), Neveu and Bry (1983)
<i>Phragmites communis</i> <i>Sparganium</i> spp. <i>Typha latifolia</i>	Abandoned meadows <i>Solidago</i> sp.	Stream	Fortin <i>et al.</i> (1982)
	<i>Chara</i> sp. <i>Lemna</i> sp. <i>Potamogeton</i> sp.	Marsh	Farrell (1991)

5 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du gardon (*Rutilus rutilus* L.)

5.1.1 Reproduction du gardon

Les poissons commencent leur préparation physiologique pour la fraie dès la fin de la fraie précédente. Ils exploitent pour cela l'abondance de nourriture présente dans les eaux chaudes de l'été et accumulent ainsi les réserves nécessaires à la prochaine période de reproduction. Le développement des organes sexuels débute à partir de juillet et à la fin de l'été les individus accusent déjà une augmentation significative de leur masse corporelle. Pendant l'hiver, la baisse des températures entraîne une réduction du métabolisme du gardon. A partir de février le métabolisme s'accélère pour préparer la fraie : augmentation de la prise alimentaire, prise de poids et couleurs des nageoires plus vives (Everard, 2006).

5.1.2 La fraie

La ponte du gardon se déroule d'avril à juin (Bruslé et Quignard, 2001 ; Gillet 1989a), à une température de l'eau comprise entre 14°C-16°C (Huet, 1983) ou entre 12-14°C (Maitland & Campbell, 1992). La fraie du gardon coïncide avec le boom de nourriture du milieu du printemps qui fournit aux larves et aux juvéniles une nourriture abondante qui leur permettra de grandir rapidement. Ce foisonnement de nourriture est également utilisé par les géniteurs pour compenser leurs dépenses énergétiques liées à la reproduction (Everard, 2006).

Les populations les plus nordiques peuvent se reproduire à des températures plus basses, de 10 à 12°C (Gillet 1989a), et il est également possible que la fraie ai lieu plus tard dans l'année (Everard, 2006).

Le facteur prépondérant pour le déclenchement de la fraie est la photopériode. La durée du jour stimule la production d'hormone gonadotrope qui est liée à la reproduction. La température, d'une importance secondaire pour le déclenchement de la fraie, régule toutefois son intensité et sa durée (Worthington *et al.*, 1982; Jafri, 1990 ; Nöges & Järvet, 2005). D'autres facteurs comme la pluviométrie, les changements de régime d'écoulement ou de comportement social et plus particulièrement les phéromones, peuvent également affecter la

fraie (Everard, 2006). Toutefois, même si la température n'est pas le facteur le plus important pour induire la fraie, une étude réalisée dans le lac de Genève (Gillet & Quélin, 2006) montre que la reproduction du gardon pourrait être influencée par le réchauffement climatique. En effet, les températures plus élevées du printemps (en moyenne) avancent la maturation méiotique et permettent une ovulation plus précoce. Il s'en suit une ponte précoce à des températures inférieures à celles enregistrées habituellement pour la reproduction des gardons. Ce besoin thermique nécessaire pour assurer l'ovulation expliquerait aussi pourquoi la fraie a lieu plus tôt quand le printemps est chaud que quand il est froid ; comme observé par Wilkonska et Zuromska (1967).

Pour l'ensemble des individus d'une population, la ponte ne dure que quelques jours et est simultanée. La synchronisation entre les femelles est plus évidente aux latitudes septentrionales où la réduction de la durée de la fraie est avantageuse pour les juvéniles ainsi que pour les adultes, car elle leur permet de profiter au maximum des périodes favorables à la croissance (Lappalainen et Tarkan, 2007). La femelle pond en une seule fois entre 150.000 et 200.000 œufs, concentrés en grand nombre, approximativement 10.000 œufs/m² (Bruslé et Quignard, 2001; Gillet 1989a). Des conditions défavorables, telles que de mauvaises conditions météorologiques, peuvent interrompre temporairement ou même définitivement la fraie (Gillet 1989a).

5.1.3 Les frayères

La plupart des frayères à gardons sont décrites dans la littérature comme étant des zones peu profondes recouvertes de végétaux aquatiques (Gillet 1989a). Mais les œufs de cette espèce ont été observés sur une grande diversité de substrats tels que des macrophytes des genres *Potamogeton*, *Fontinalis*, *Elodea*, etc., des racines de saules, des prairies inondées, des rochers, des graviers, du bois mort, etc. (Bruslé et Quignard, 2001). Le gardon est une espèce phyto-lithophile ; elle montre une grande plasticité et une bonne capacité d'adaptation, ce qui lui permet de frayer sur différents substrats (Everard, 2006). Il existe des populations phytophiles qui ont l'habitude de déposer leurs œufs sur les galets et les enrochements (Gillet 1989a). Quelques données relatives à cette plasticité sont exposées au **Tableau 5.1**.

Malgré tout, les gardons montrent une préférence pour les zones peu profondes à courant léger et à végétation dense (Everard, 2006). Selon Gillet et Dubois (1995), la nature du matériau utilisée comme substrat de fraie est moins importante que sa forme et sa structure.

Lors de leurs expériences au Lac Genève, ils ont observé que les structures denses des réseaux étaient très attractives pour le gardon. Les massifs de plantes aquatiques mentionnées ci-dessus sont très attractifs car ils sont constitués d'un réseau très dense où les œufs de gardon se fixent facilement. L'adhérence de ces derniers est facilitée par une couche de mucus sur la membrane externe de l'œuf. Enfin, il a été observé que le gardon accepte de déposer ses œufs sur des substrats artificiels lorsque ceux-ci présentent une texture voisine des substrats naturels (Gillet 1989a).

Tableau 5.1. Composition et profondeur des frayères naturelles du gardon (*Rutilus rutilus*) (Gillet, 1989a).

Auteurs	Milieu d'étude	Substrat de frayère	Profondeur
A - Populations phytophiles			
MILLS, 1981 PECZALSKA, 1968	River Frome Canaux	Fontinalis Plantes aquatiques	0 à 9 m quelques centimètres de la surface
WILKONSKA et ZURONSKA, 1967	Lacs de Mazurie	1) baie marécageuse 2) prairie inondée 3) type intermédiaire	0,1 à 1,5 m 0,1 à 0,5 m 0,2 à 1,0 m
GILLET	Balastière	Racines de saule	0,1 à 0,5 m
B - Populations lithophiles			
HOLCIK et HRUSKA, 1964-65	Lac Klicava	Rochers et galets	0 à 1,5 m profondeur moyenne : 0,4 m par temps chaud 0,7 m par temps froid
GILLET	Lac Léman	Rochers	0,08 à 1,5 m

5.1.4 L'œuf et son développement

Les œufs de gardon sont déposés non loin de la surface. Même si les profondeurs citées varient de quelques centimètres à quelques mètres (**Tableau 5.1**), la plupart des œufs se trouvent souvent dans les premiers centimètres (Bruslé et Quignard, 2001 ; Gillet 1989a). Cependant, si les conditions météorologiques sont défavorables les œufs, peuvent être déposés plus profondément.

Dans plusieurs lacs, les populations de gardons retournent chaque année frayer dans les mêmes zones, bien que celles-ci ne représentent parfois qu'un faible pourcentage de

l'ensemble des frayères potentielles du plan d'eau (Gillet, 1989a). Ce comportement a été observé dans la grande majorité des populations de gardons (Everard, 2006).

Supérieur à 90%, le taux de fécondation des œufs est généralement très élevé en conditions naturelles, (Gillet, 1989a). La température optimale pour le développement des œufs est comprise entre 12 et 24°C, et des températures inférieures à 8°C ou supérieures à 26°C peuvent entraîner la mort des œufs (Herzig et Winkler, 1985). Ce risque semble augmenter avec la latitude (Lappalainen et Tarkan, 2007).

La durée d'incubation des œufs varie entre 4 et 10 jours en fonction de la température (Schlumberger et Gouy, 1998). L'étendue de la gamme des températures favorables au développement embryonnaire diminue fortement les risques de mortalités dus à un refroidissement (Gillet, 1989a). Une augmentation des températures est la situation la plus favorable au développement de l'embryon car elle facilite le passage des réserves vitellines vers les cellules embryonnaires et l'utilisation de ces réserves pour satisfaire les besoins nutritionnels élevés de l'embryon (Reznitchenko, 1971 et 1976). Dans des conditions plus froides, les œufs et les larves se développent plus lentement et sont donc exposés pendant plus de temps à la prédation et à des risques environnementaux (Everard, 2006).

Pendant leur incubation, les œufs fixés à leur substrat sont susceptibles d'être attaqués par des prédateurs tels que des invertébrés, d'autres poissons et des amphibiens. Leur couleur claire et leur petite taille sont d'une grande aide pour échapper à certains prédateurs. Malgré cela, une grande quantité d'œufs sont consommés avant de pouvoir éclore (Everard, 2006). Par ailleurs, les vagues présentent à la surface des lacs et des rivières en fonction des conditions météorologiques ou de navigation arrachent les œufs à leurs substrats et sont responsables de mortalités embryonnaires (Gillet, 1989a). En effet, les œufs qui tombent au fond du lac ou du cours d'eau sont généralement détruits par manque d'oxygène ou par prédation. C'est précisément pour éviter ces conditions anoxiques que les œufs sont déposés près de la surface dans une zone bien oxygénée, même si ils peuvent être soumis à l'action des vagues (Everard, 2006).

5.1.5 Les larves : besoins et développement

A l'éclosion les larves de gardons sont immobiles et leur corps est encore un peu courbé. Elles mesurent entre 4 et 5 mm de long et n'ont pas de pigmentation à la surface de l'épiderme

(Everard, 2006). Elles s'attachent à la végétation ou aux racines à l'aide d'une glande adhésive et se nourrissent de leurs réserves vitellines (Copp, 1990). Elles y restent attachées pendant 2 à 5 jours; la température influence de façon importante la durée de cette phase (Everard, 2006). Durant cette période, les larves ne manifestent aucune préférence quant à leur microhabitat et n'ont besoin que d'un substrat pour s'accrocher (Copp, 1990). Elles présentent tout de même une photosensibilité négative, adaptation utile pour se protéger des prédateurs (Everard, 2006).

Quand la majorité de leur réserve vitelline a été consommée, les larves se détachent des substrats auxquels elles étaient attachées et commencent à nager et à se nourrir librement (alimentation exogène). Le corps s'est redressé pour les aider à nager mais les nageoires et le système digestif ne sont pas encore très bien développés. Les larves, encore petites (7 mm approximativement), sont très vulnérables à la prédation et aux mouvements d'eau. Comme lors de la phase de fixation, elles présentent une photosensibilité négative pour se protéger de quelques prédateurs. La première nourriture des larves est principalement composée de phytoplancton et de rotifères (Everard, 2006). La petite taille des larves limite la gamme des proies potentielles (taille de la proie/taille de la bouche)).

La vision joue un rôle majeur lors de la première alimentation. Cette importance est mise en évidence par la diminution du rapport entre le volume des yeux et le volume total du corps au fur et à mesure de la croissance de l'individu. La journée, quand la visibilité permet de repérer les proies, celles-ci sont localisées, capturées et avalées une à une (Everard, 2006).

Les larves, suite au développement incomplet de leur tube digestif, doivent ingérer chaque jour approximativement 50% de leur poids pour subvenir à leurs besoins énergétiques. Ce manque d'efficacité digestive conditionne aussi la nature du régime qui doit inclure du zooplancton (comme des rotifères et daphnies) dans des proportions importantes de manière à pouvoir digérer et absorber les nutriments nécessaires tels que les protéines (Everard, 2006). A ce stade, la plupart des changements ontogéniques dans la composition du régime alimentaire sont dus à des changements morphologiques, en particulier l'augmentation de la taille de la bouche et la meilleure habilité locomotrice (Wootton, 1990).

Pendant cette période d'alimentation exogène, le taux de mortalité est maximal et une grande partie des jeunes gardons meurent de faim ou sont victimes des prédateurs (Everard, 2006).

Les facteurs hydrométéorologiques et climatiques du début de l'été sont eux aussi importants pour la survie des larves, les chutes brutales de température étant néfastes (Bruslé et Quignard, 2001).

La différenciation des nageoires dorsale et annale ainsi que le changement de la forme du corps, permettent ensuite de choisir l'habitat de façon active et coïncident avec un changement de régime (Hartmann, 1983). A partir de ce stade, les larves montrent une forte prédilection pour des habitats offrant à la fois nourriture et protection (débris ligneux, végétation, eaux lenticules et profondeurs réduites) (Haberlehner, 1988 ; Rozas et Odum, 1998). Des associations similaires entre les larves ou juvéniles et les eaux calmes qui présentent une protection végétale ou ligneuse ont été observées par exemple dans le Rhin (Schröder, 1979) et dans le Danube (Haberlehner, 1988).

A l'âge de trois semaines, les larves gagnent encore en mobilité et s'aventurent plus loin dans leur quête de nourriture. Malgré la prédation d'un grand nombre d'animaux, les larves deviennent trop grandes pour certains d'entre eux. Leur taille permet désormais de se nourrir de daphnies adultes qui deviennent l'un des éléments les plus importants du régime et ce jusqu'au stade adulte (Everard, 2006).

Un changement d'habitat a été observé entre les stades larvaire et juvénile. En effet, les larves cherchent la protection de la végétation aquatique tandis que les juvéniles semblent l'éviter. Ce comportement a été souvent décrit en milieu fluvial (Copp, 1997 et 1990) mais aussi en milieu lacustre (Copp, 1993).

En lac, les larves du gardon effectuent une migration vers des eaux plus profondes quelques semaines après l'éclosion (Copp, 1992). Ce comportement n'a pas été démontré pour les larves se trouvant dans les cours d'eau. Lorsque celles-ci ne trouvent pas des zones refuges (végétation et branches), elles exploitent la sécurité relative des eaux de bordure peu profondes (Copp, 1990).

Le début du comportement grégaire et des mouvements vers le large, réalisés afin de se nourrir, et ce plus particulièrement dans des eaux turbides (Bohl, 1980), coïncide souvent avec des changements morphologiques, physiologiques (Mark et al, 1989 *in* Copp, 1992) et alimentaires (Hartmann, 1983).

Pendant les premiers mois de sa vie, les arrêtes du gardon durcissent (ossification), les nageoires se forment complètement et le système digestif termine son développement. La phototaxie négative est remplacée par une phototaxie positive, reflétant les changements dans l'alimentation (Everard, 2006).

L'alimentation et la croissance sont les priorités des juvéniles qui continuent à se nourrir préférentiellement pendant la journée. Ils peuvent maintenant aussi se nourrir de zooplancton pendant la nuit grâce au développement de leur ligne latérale qui permet de détecter des proies dans la pénombre. Au fur et à mesure de leur croissance, les gardons passent d'un régime planctonophage à un régime benthique plus prononcé. Toutefois, comme précisé plus haut, les daphnies continueront à tenir une importance notable dans le régime (Everard, 2006).

A côté de l'alimentation, la température contrôle aussi la croissance du gardon. Staaks (1996) a prouvé que le gardon préfère les températures comprises entre 28 et 30°C, températures supérieures à celles rencontrées habituellement dans son habitat naturel en Europe. Cette préférence est à mettre en relation avec la croissance plus rapide des individus dans cette gamme de températures (Wootton, 1990). Les températures élevées stimulent les activités enzymatiques et provoquent une croissance plus rapide pour peu que la nourriture ne soit pas limitante. L'eau froide peut affecter l'efficacité de l'activité alimentaire en ralentissant les mouvements des poissons, ce qui réduit le nombre de captures par unité de temps (Webb, 1978 ; Johnson *et al.*, 1996). Les résultats de Krause (1998) indiquent que le choix de l'habitat est plus influencé par la température que par la disponibilité en aliments. Ces résultats concordent avec ceux d'études antérieures (Widhaber & Crowder, 1990 ; Bevelhimer, 1996).

La recherche d'eaux peu profondes et de structures protectrices est dictée par la nécessité de se prémunir des prédateurs. Les juvéniles de cyprinidés comme le gardon répondent à la menace exercée par les prédateurs et la pénombre, en se déplaçant vers la zone littorale (Manteifel *et al.*, 1978).

5.1.6 Caractéristiques de l'habitat des adultes

Le gardon est un poisson principalement planctonophage, mais les adultes ingèrent également des algues et du macrozoobenthos (Persson, 1983 ; Haertel & Eckmann, 2002). Il n'est donc pas surprenant de retrouver la majorité des individus dans la zone pélagique où ils peuvent

trouver une grande densité de zooplancton. Le choix de l'habitat est aussi fortement influencé par la présence de prédateurs (Eklöv & Persson, 1996, ; Jacobsen & Berg, 1998 ; Okun & Menher, 2005). Cette présence stresse les gardons qui peuvent abandonner les zones favorables des eaux ouvertes pour aller se réfugier dans les herbiers (Werner *et al.*, 1983 ; Persson *et al.*, 1991; Jacobsen & Berg, 1998).

Dans ses études réalisées au lac GroBer Vätersee, Schulze (2006) remarque que même si la distribution de toutes les espèces est similaire, les captures élevées de gardon ne coïncident jamais avec des captures élevées de ses prédateurs. Cette observation semble indiquer que les gardons évitent la proximité immédiate des prédateurs sans pour autant être obligés de changer complètement d'habitat (Haertel *et al.*, 2002). Les gardons de petite taille adaptent leur utilisation de l'espace en fonction de la présence ou non de prédateurs. Ils se cachent la journée et ne sortent se nourrir dans les riches zones pélagiques qu'une fois la nuit venue (Hölker *et al.*, 2002 ; Lewin *et al.*, 2004; Okun & Mehner, 2005). Contrairement aux individus de petite taille, les gros gardons ne réalisent pas de déplacements entre la zone pélagique et littorale. Il est cependant intéressant de remarquer que ces derniers adoptent tout de même un comportement d'évitement vis-à-vis de prédateurs dont la taille les met en danger (Schulze, 2006).

Il n'a pas été possible de lier les captures des gardons de grande taille avec l'abondance du zooplancton. Il est probable que cela soit lié au comportement alimentaire opportuniste des gardons de grande taille, qui se nourrissent aussi de macrophytes, d'algues et de faune benthiques (Persson, 1983 ; Hölker & Brecklin, 2001 ; Haertel & Eckmann, 2002).

Pendant l'hiver, la disponibilité réduite de la nourriture et la perte de zones refuges (éclaircissement de l'eau et diminution de la végétation), augmentent considérablement le risque de prédation (Jepsen & Berg, 2002).

Schulze (2006) observe que les gardons adultes ont une préférence pour les zones plus froides et profondes du milieu pélagique. Staaks (1996) observent le contraire chez les juvéniles.

6 Mise en place et suivi des frayères artificielles sur les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure

6.1 Calendrier général des actions

Pour débiter le présent projet, nous avons eu l'opportunité de tester des frayères artificielles flottantes prêtées par la Ligue Royale de Propagande des Pêcheurs de l'Est. Nous avons décidé de les placer dès le début du projet dans le lac de la Plate Taille, avant même de débiter la recherche bibliographique, afin d'une part de tenter d'obtenir des pontes de brochets et d'autre part de récolter des informations sur la susceptibilité des frayères au colmatage dans ce lac lié au développement du périphyton et au dépôt de matières en suspension minérales.

Lors des visites hebdomadaires, nous avons pris la température, recherché des œufs de poisson sur les frayères, vérifié l'état de colmatage et nettoyé les frayères si nécessaire. Le **tableau 6.1** reprend les dates des visites des frayères sur le terrain ainsi que leurs résultats.

Tableau 6.1. Calendrier des actions réalisées lors du projet de mise en place de frayères artificielles dans les lacs de la Plate Taille (PT), de l'Eau d'Heure (EH) et dans le lac de prébarrage de Falemprise (FAL).

Date	Temp. PT (°C)	Temp. EH (°C)	Temp FAL (°C)	Présence d'œufs	Actions
Février					
22	7	-			Mise en place de cinq frayères artificielles flottantes dans la Plate Taille
26	-	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
Mars					
1	5	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
5	7	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
12	7,5	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
15	7	-		N	Recherche de pontes, nettoyage et déplacement des frayères
19	5	-		N	Recherche de pontes et nettoyage

22	5,5	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
26	7C	-		N	Nettoyage des frayères avec un jet d'eau sous pression et déplacement (Plate Taille et Eau d'Heure)
29	6,5	7		N	Recherche de pontes et nettoyage
Avril					
2	8	8		N	Recherche de pontes et nettoyage
5	6,5	7		N	Recherche de pontes et nettoyage
13	-	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
16	-	-		N	Recherche de pontes et nettoyage
19	-	-		O	Prise d'échantillons d'œufs à l'Eau d'Heure, nettoyage pour les autres frayères
23	12	12,5		O	Recherche de pontes et nettoyage
26	15	15		O	Comptage des œufs
30	15	15		O	Recherche de pontes et nettoyage
Mai					
3	13,2	14,3		O	Mise en place de dispositifs de contrôle d'éclosion
7	13,6	13,3		O	Contrôle des éclosions et nettoyage
10	12,9	13,5		O	Contrôle des éclosions et nettoyage
15	14	14,6		O	Contrôle des éclosions et nettoyage
18	13,5	14,2		O	Contrôle des éclosions et nettoyage
21	14,5	15,3		O	Contrôle des éclosions et nettoyage
23					Montage des nouvelles frayères
24	15,4	16		N	Recherche de pontes et nettoyage Mise en place de 3 frayères à EH Montage des nouvelles frayères
30	14,9	15,9	17,7	N	Recherche de pontes et nettoyage Mise en place de toutes les frayères
Juin					
4	17,5	17,7	20,3	N	Recherche de pontes et nettoyage
7	19	18,5	21,2	N	Recherche de pontes et nettoyage Prise d'échantillons d'œufs sur substrat naturel
11	18,7	18,1	22,5	N	Recherche de pontes et nettoyage

14	18,2	19,1	22,1	N	Recherche de pontes et nettoyage
18	17,6	18,5	22,1	N	Recherche de pontes et nettoyage
28	17,2	17,8		N	Recherche de pontes et nettoyage Fin de l'expérience pour FAL
Juillet					
4	17,5	18		N	Recherche de pontes et nettoyage
11	17,5	18,2		N	Recherche de pontes et nettoyage
26					Retrait et nettoyage des frayères
30					Retrait et nettoyage des frayères

PT, Plate Taille ; EH, Eau d'Heure ; FAL, Falemprise ; N, non ; O, oui.

En comparant les données de température (mesurées au 1/10^{ème} de °c) reprises au **tableau 6.1** avec celles présentées à la **figure 2.5**, on remarque que les valeurs atteintes en 2007 pour le mois d'avril correspondent à celles atteintes en mai pour les années 2002-2003. Il semble donc que les conditions météorologiques particulièrement favorables du printemps 2007 aient permis un réchauffement des eaux plus rapide que d'habitude (un mois d'avance). Cela pourrait peut-être expliquer l'absence de reproduction de brochet sur les frayères en 2007 (voir § 7.8).

6.2 Mise en place

La mise en place des frayères s'est déroulée en deux étapes.

Dans un premier temps, cinq frayères artificielles flottantes identiques à celles utilisées par Herman (1993) ont été placées dans le lac de la Plate Taille le 22 février 2007 (**Figure 6.1**, p.70). Elles ont été positionnées dans l'anse située à proximité du centre ADEPS (où la profondeur de la colonne d'eau est de 8m) avec l'aide de Francis Huybrechts et de Jean-Marie Lorquet, respectivement Président et Administrateur de la Ligue Royale de Propagande des Pêcheurs de l'Est. C'est en tout approximativement 10 m² d'épicéa artificiel qui a ainsi été mis en place. Deux des cinq frayères sont équipées d'un fond en Enkamat[®] en plus de leur épicéa artificiel pour retenir les œufs qui se décolleraient de ce dernier.

Dans un second temps, 20 frayères de type SOVB, du nom de l'entreprise qui les commercialise, ont été placées les 24 et 30 mai 2007 dans les lacs de la Plate Taille (10)

(**Figure 6.1**, p. 70), de Falemprise (1) (**Figure 6.2**, p. 71) et de de l'Eau d'Heure (9) (**Figure 6.3**, p. 72). Chacune de ces frayères est composée de deux cadres de 2 m sur 1 sur lesquels sont vissés 15 « éléments frayères ». Ces derniers sont formés d'un ensemble de fibres de polypropylène vert, de 15 cm de long, montés en touffes dans une latte plastique (**Figure 6.4**). Relativement lourd et encombrant, ce type de frayère nécessite l'emploi de quatre bouées pour être maintenue en place. Le tout est livré en pièces détachées et doit être monté. Dans notre cas, vu le nombre important de frayères commandées, ce travail s'est révélé être une tâche importante.



Figure 6.4. Montage des frayères artificielles flottantes composées de fibres de polypropylène (type SOVB).

Les deux types de frayères sont mises en place de la même manière : elles sont amenées sur place par zodiac et attachées l'une à la suite de l'autre, un poids fixé aux deux extrémités de la chaîne (**Figure 6.5**). Cette méthode permet de proposer de plus grandes surfaces aux poissons et de limiter le nombre de poids et la longueur de corde employée. Les poids jouent un double rôle : ils maintiennent l'ensemble du dispositif en place et assurent une tension qui empêche les frayères de s'emmêler.



Figure 6.5. Mise en place des frayères artificielles de type SOVB dans les lacs de la Plate Taille, de l'Eau d'Heure et de Falemprise les 24 et 30 mai 2007.

6.3 Colmatage et positionnement

Le colmatage des frayères a présenté une grande variabilité tant temporelle que spatiale. Pour caractériser de façon plus précise l'importance de celui-ci, une échelle arbitraire de valeurs allant de 0 à 5 classes, détaillée ci-dessous, a été utilisée. Le **tableau 6.2** reprend le suivi du colmatage pour les différentes localisations tout au long de la période d'observation.

- 0 « colmatage absent » : le substrat est clairement visible et sa couleur n'est pas altérée (apparence après nettoyage avec un jet d'eau sous pression) ;
- 1 « colmatage léger » : dépôts peu importants et localisés, la couleur du substrat n'est pas altérée (vert) ;
- 2 « colmatage moyen » : généralisé à toute la frayère, la structure du substrat est toujours clairement visible, sa couleur est modifiée (brun-vert) ;
- 3 « colmatage » : généralisé à toute la frayère, la structure du substrat est entièrement recouverte et plus difficile à distinguer ;
- 4 « colmatage fort » : généralisé à toute la frayère, la structure du substrat est totalement recouverte et à peine visible.

Malgré son caractère arbitraire, cette échelle a permis de comparer qualitativement le phénomène de colmatage entre et dans les différents lacs.

Tableau 6.2. Evolution du colmatage des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de la Plate Taille, de l'Eau d'Heure et de Falemprise entre le 26 février et le 11 juillet 2007.

	Plate Taille													Eau d'Heure					Falemprise
	Frayères épicéa				Frayères SOVB								Frayères épicéa		Frayères SOVB				
Date	Cabiniers	Oupia	ADEPS crique droite	ADEPS crique gauche	1	2	3	4	5	6	7	8	Port	Badon	Port	Badon	Petite crique		
26-février			1																
1-mars			1																
5-mars			1																
12-mars			4																
15-mars		3		2															
19-mars		3		2															
22-mars		3		1															
26-mars	0	0		0															
29-mars	1	1		1									1	1					
2-avril	-	1		2									2	2					
5-avril	-	2		1									3	3					
13-avril	-	2		1									3	3					
16-avril	-	2		2									-	-					
19-avril	1	2		2									1	3					
23-avril	1	2		1									1	3					
26-avril	1	2		1									1	1					
30-avril	1	2		1									2	1					
3-mai	1	2		1									2	1					
7-mai	1	2		2									2	2					
10-mai	1	3		1									2	2					
15-mai	-	-		-									-	-					
18-mai	1	1		1									3	3					
21-mai	1	1		1									3	3					
24-mai	1	1		1									3	3					

30-mai	1	1		1									3	4			1	
4-juin	1	1		1	1	2	1	2	1	1	2	2	3	3	2	2	1	2
7-juin	1	1		1	1	2	1	2	1	1	2	2	3	3	2	2	2	3
11-juin	1	1		1	1	3	1	2	1	1	1	1	3	4	3	3	3	4
14-juin	1	1		1	1	2	1	2	1	1	2	2	3	4	3	3	3	3
18-juin	1	1		1	1	3	1	3	1	1	3	2	-	-	-	-	-	4
28-juin	2	1		1	2	2	1	2	1	1	2	2	4	4	4	4	4	
4-juillet	1	1		1	1	2	1	2	1	1	1	1	3	4	3	3	3	
11-juillet	1	1		1	2	3	1	3	1	1	1	1	4	4	3	4	3	

Malgré une bonne transparence de l'eau, nous avons observé, dans la branche ouest de l'anse de l'ADEPS, un colmatage phytoplanctonique rapide des substrats atteignant l'indice 4 de l'échelle (**Figure 6.6**). Nous avons alors décidé de tester d'autres endroits du même lac, la Plate Taille, pour nous assurer que ce problème ne soit pas spécifique à cette anse en particulier. Trois frayères ont été disposées dans le second bras de cette même anse et les deux dernières ont été placées dans l'anse d'Oupia (**Figure 6.1**). Le problème de colmatage, bien que moindre, n'ayant pu être résolu ni par le changement d'emplacement ni par le nettoyage du substrat à l'aide d'une brosse, nous avons décidé de ramener les frayères sur la berge afin de les nettoyer parfaitement en les passant sous un jet d'eau sous pression le 26 mars 2007.

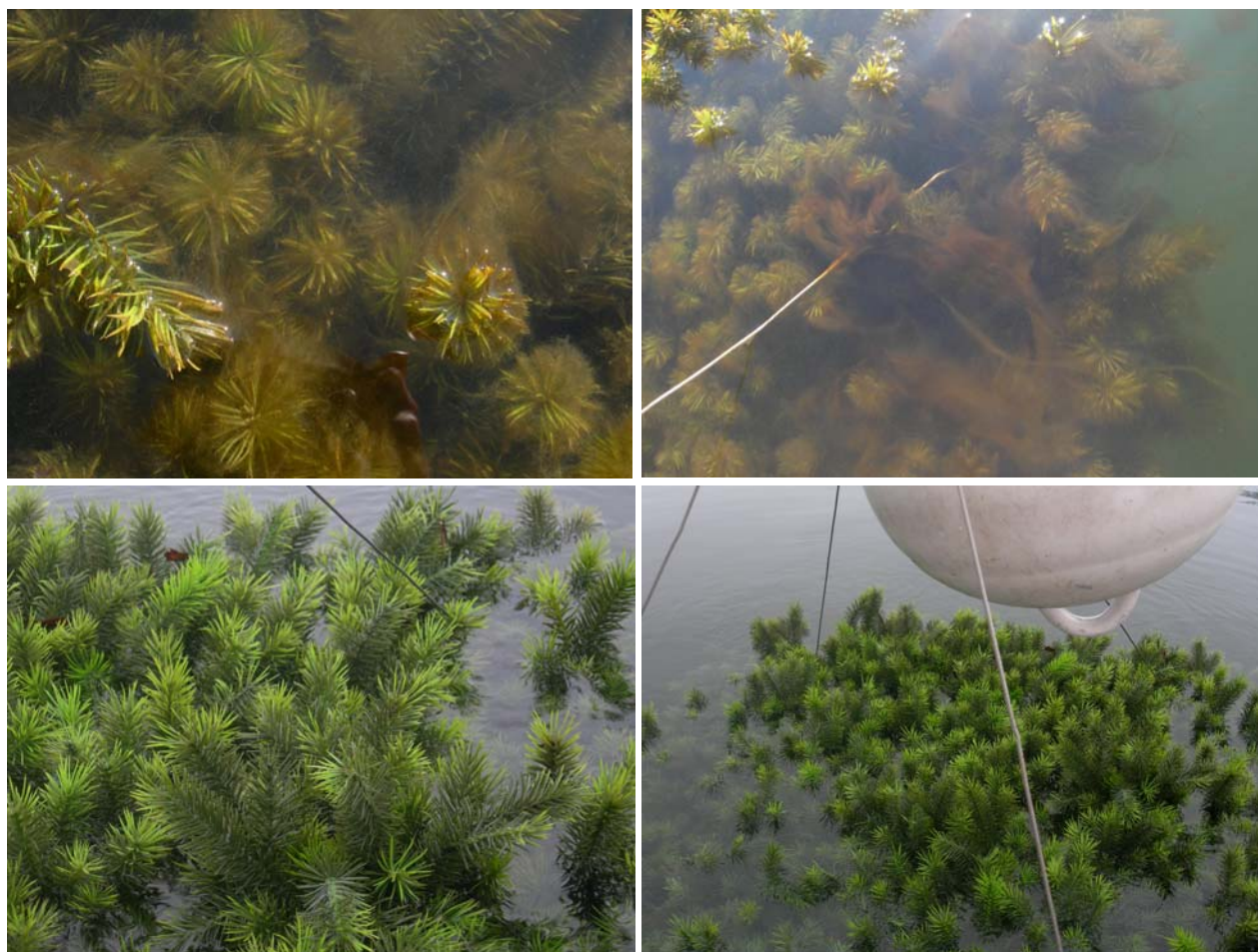


Figure 6.6. Comparaison entre des frayères artificielles flottantes placées dans le lac de la Plate Taille : en haut, frayères colmatées par le développement du phytoplancton le 12/03/07 et en bas, frayères nettoyées avec de l'eau sous pression le 26/03/07.

Ensuite, trois frayères nettoyées ont été placées sur le lac de la Plate Taille le 26 mars 2007 en trois lieux différents (**Figure 6.1**) :

- Le second bras de l'anse de l'ADEPS (7-8 m de hauteur de colonne d'eau)
- L'anse d'Oupia (5m de hauteur de colonne d'eau)
- L'extrémité de la crique des cabiniers (3-4 m de hauteur de colonne d'eau)

Ces emplacements ont été sélectionnés car ils semblent présenter les caractéristiques nécessaires à la reproduction du brochet et à la survie de ses alevins. En effet, ils sont à l'abri du vent et des courants et d'après les témoignages du personnel des Lacs de l'Eau d'Heure ASBL, une végétation aquatique et/ou semi-aquatique s'y développe au printemps et en été. Ces informations sont confirmées par le rapport réalisé par IGRETEC (2004).

Les deux autres frayères nettoyées ont été placées le 26 mars dans le lac de l'Eau d'Heure à deux endroits différents afin de tester la présence ou non de problèmes de colmatage (**Figure 6.3**) :

- Dans l'anse de Badon (9 m de hauteur de colonne d'eau)
- Dans une anse située un peu plus au nord (6 m de hauteur de colonne d'eau)

Ces emplacements présentent les mêmes caractéristiques que celles décrites au point précédent et paraissent donc appropriés pour la reproduction des poissons.

Après leur déplacement, l'ensemble des frayères n'a plus jamais, pour la Plate Taille, présenté un degré de colmatage comparable à celui du 12/03/2007. L'analyse d'un échantillon du dépôt à l'origine du colmatage par l'Unité de Recherche en Biologie de Organismes des Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur nous a permis d'en connaître la nature. Il s'agit principalement de

- diatomées (*Melosira sp* et *Aulacoseira sp*) ;
- cyanobactéries (*Oscillatoria sp*) ;
- algues vertes (*Spyrogira sp*).

D'autres auteurs rapportent aussi du colmatage des frayères (Cazin, 1994, Nash *et al.*, 1999). Cazin (1994) a pour sa part observé un envahissement de frayères artificielles flottantes par *Cladophora*.

La diminution observée du colmatage pourrait être due à la récession du pic de développement printanier du phytoplancton (**Figure 2.6**). Cependant, il semble qu'un effet « station » intervienne également. En effet, pour le lac de l'Eau d'Heure, on observe un développement accru du phytoplancton sur la frayère artificielle placée dans l'anse de Badon par rapport à celle située dans l'anse en face du port. Les éléments nutritifs apportés par le ruisseau de la Taille à Truites favorisent probablement la croissance du phytoplancton.

Dans le lac de la Plate Taille, on observe un développement moindre sur la frayère placée dans le second bras non-loin de l'ADEPS par rapport aux deux autres.

Pour vérifier plus largement cet effet « station » et déterminer les zones les plus propices à la mise en œuvre des frayères artificielles flottantes, les frayères de type « SOVB » ont été réparties assez largement à travers les lacs les 24 et 30 mai.

Une frayère a également été placée dans le lac de Falemprise pour vérifier son comportement dans une zone ne subissant pas de marnage (contrôle « positif » ou « témoin »).

Les frayères ont été placées comme suit :

- A l'Eau d'Heure, trois frayères SOVB sont venues renforcer chacune des frayères « épicea » déjà en place et trois autres frayères SOVB ont été placées dans la troisième grande crique de la rive est (**Figure 6.3**). Seules ces trois criques ont été utilisées car le reste du lac est fort fréquenté par des amateurs de sports nautiques.
- La Plate Taille, de par sa superficie, sa forme et les activités qui y sont pratiquées, recèle de nombreuses zones à priori favorables pour l'implantation de frayères artificielles. Les frayères ont été dispersées le long de la rive nord où l'exposition au vent, au courant et à la pression anthropique est la plus faible (**Figure 6.1**).
- A Falemprise, la frayère a été placée hors de la zone récréative, tout de près de l'île dans la partie sud du lac (**Figure 6.2**).

Toutes les frayères ont été soumises au problème du colmatage mais à des degrés divers. La frayère placée dans le lac de Falemprise a subi le colmatage le plus important et dès le deuxième nettoyage, il n'a plus été possible de se débarrasser totalement des matières

accrochées au substrat. Ce lac est fort eutrophisé et ne convient pas à la mise en place de frayères artificielles flottantes, même pour servir de « témoin ».

Le lac de l'Eau d'Heure est également soumis à un colmatage important. Les frayères sont rapidement recouvertes par les diatomées et les algues vertes. Deux nettoyages par semaine sont nécessaires pour maintenir le substrat dans des conditions favorables à la ponte des poissons. Comme pour les mois précédents, les frayères placées dans la crique de Badon ont été soumises à un colmatage plus rapide et plus important que celles placées dans les autres criques. Les frayères ont été placées à des profondeurs différentes (30, 60 et 100 cm) pour tester l'influence de ce paramètre sur le colmatage mais aucune différence notable n'a pu être enregistrée.

Le lac de la plate Taille est nettement moins soumis au problème du colmatage que les deux précédents (**Tableau 6.2**). Malgré tout, l'effet de localisation est clairement visible et on observe des différences importantes entre les stations. En effet, les deux frayères placées dans la branche ouest de la crique près du centre ADEPS (n°5 et 6, **figure 6.1**) ne subissent pratiquement pas l'influence des diatomées tandis que celles placées dans la crique des cabiniers (2, **figure 6.1**) ainsi que celle située à l'extrémité de la branche est de la crique de l'ADEPS (4, **figure 6.1**) sont systématiquement colmatées. Il semble raisonnable de penser que, le colmatage étant dû à la croissance d'organismes autotrophes, l'intensité lumineuse joue un rôle prépondérant dans l'ampleur de celui-ci. Cette hypothèse semble confirmée par le faible degré de colmatage des frayères 5 et 6, placées à l'ombre des arbres, et celui, fort, des frayères 2 et 4 placées dans de criques ensoleillées tout au long de la journée (entrée située face à l'axe est-ouest). Les autres frayères présentent un colmatage plus irrégulier oscillant au cours du temps entre un niveau léger et moyennement important. Ce phénomène semble être lié en partie au vent qui, lorsqu'il souffle vers les criques, provoque un colmatage plus important.

Plusieurs échantillons ont été prélevés le 04/07/2007 afin d'en comparer la composition avec celle relevée en mars et déterminer si elle reste similaire au cours du temps. Le colmatage est provoqué par plusieurs types d'organismes repris au **tableau 6.3**. On retrouve les mêmes groupes d'organismes que ceux des mois précédents mais le nombre d'espèces identifiées est plus élevé. En outre, les observations faites sur le lac de l'Eau d'Heure nous permettent de remarquer que les algues vertes prennent le pas sur les diatomées lorsque les frayères sont soumises à une période de 15 jours sans nettoyage.

Tableau 6.3. Principaux organismes responsables du colmatage des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l'Eau d'Heure. Prise des échantillons le 04/07/2007.

Provenance	Plate Taille	Eau d'Heure	
	SOVB 2	Epicéa Badon	SOVB port
<i>Type d'organisme</i>			
<i>Diatomées</i>	<i>Fragilaria ssp,</i> <i>Navicula ssp,</i> <i>Cymbella ssp,</i> <i>Eumotia ssp,</i> <i>Gomphonema ssp,</i> <i>Melosira ssp</i>	<i>Fragilaria ssp</i>	<i>Fragilaria ssp,</i> <i>Cymbella spp,</i> <i>Amphora ssp,</i> <i>Tabellaria spp,</i> <i>Gyrosigma ssp</i>
<i>Algues vertes</i>	<i>Cosmarium ssp,</i> <i>Spirogira ssp</i>	<i>Cladophora ssp,</i> <i>Closterium ssp,</i> <i>Spirogira ssp</i>	<i>Spirogira ssp</i>
<i>Cyanobactéries</i>	<i>Leptolyngbya ssp</i>		<i>Oscillatoria sp</i>

C'est ce qui se passe pour la frayère « épicea », placée à Badon et principalement recouverte par des algues vertes. Ces dernières ont probablement pris le pas sur les diatomées lors de l'incubation des œufs, période où aucun nettoyage n'est possible. Ce phénomène n'a pas eu lieu à la Plate Taille où le colmatage fût nettement moins important et est très largement l'œuvre des diatomées.

En conclusion, les observations réalisées au cours de cette année 2007 ont permis de montrer que le colmatage influence de façon différente le fonctionnement des frayères artificielles flottantes suivant le lac considéré :

- Plate Taille : colmatage faible parfaitement compatible avec l'utilisation des frayères en dehors du pic de développement phytoplanctonique du début du printemps ;
- Eau d'Heure : colmatage relativement important ; moyennant deux nettoyages par semaine, l'emploi des frayères artificielles flottantes dans ce lac est possible ;
- Falemprie : colmatage très important rendant ce lac impropre à l'implantation de frayères artificielles flottantes.

Les diatomées et les algues vertes sont les principales responsables du colmatage observé.

Lac de la Plate Taille

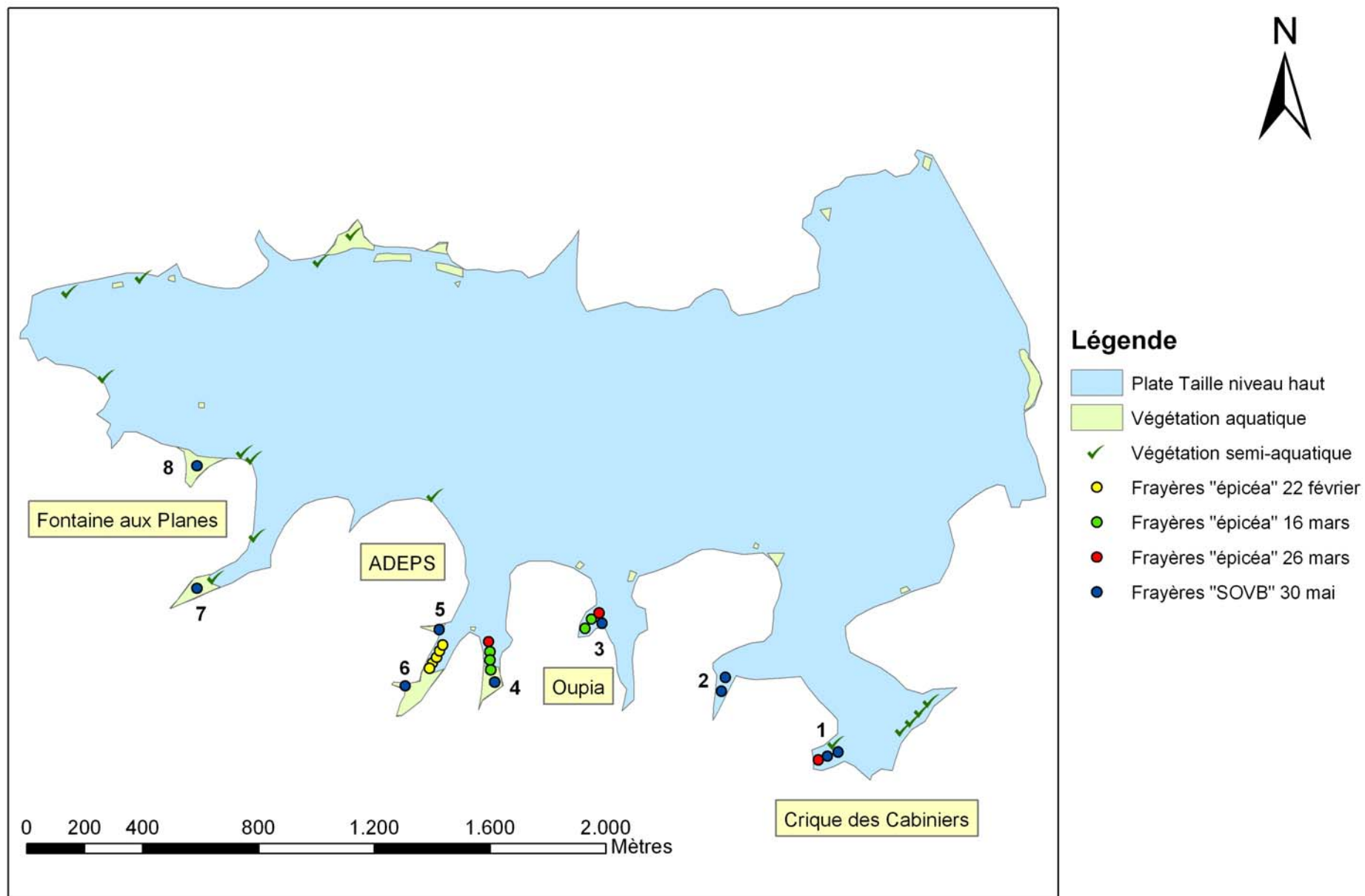


Figure 6.1. Localisation de frayères artificielles flottantes et de la végétation aquatique et semi-aquatique dans le lac de la Plate Taille.

Lac de Falemprise

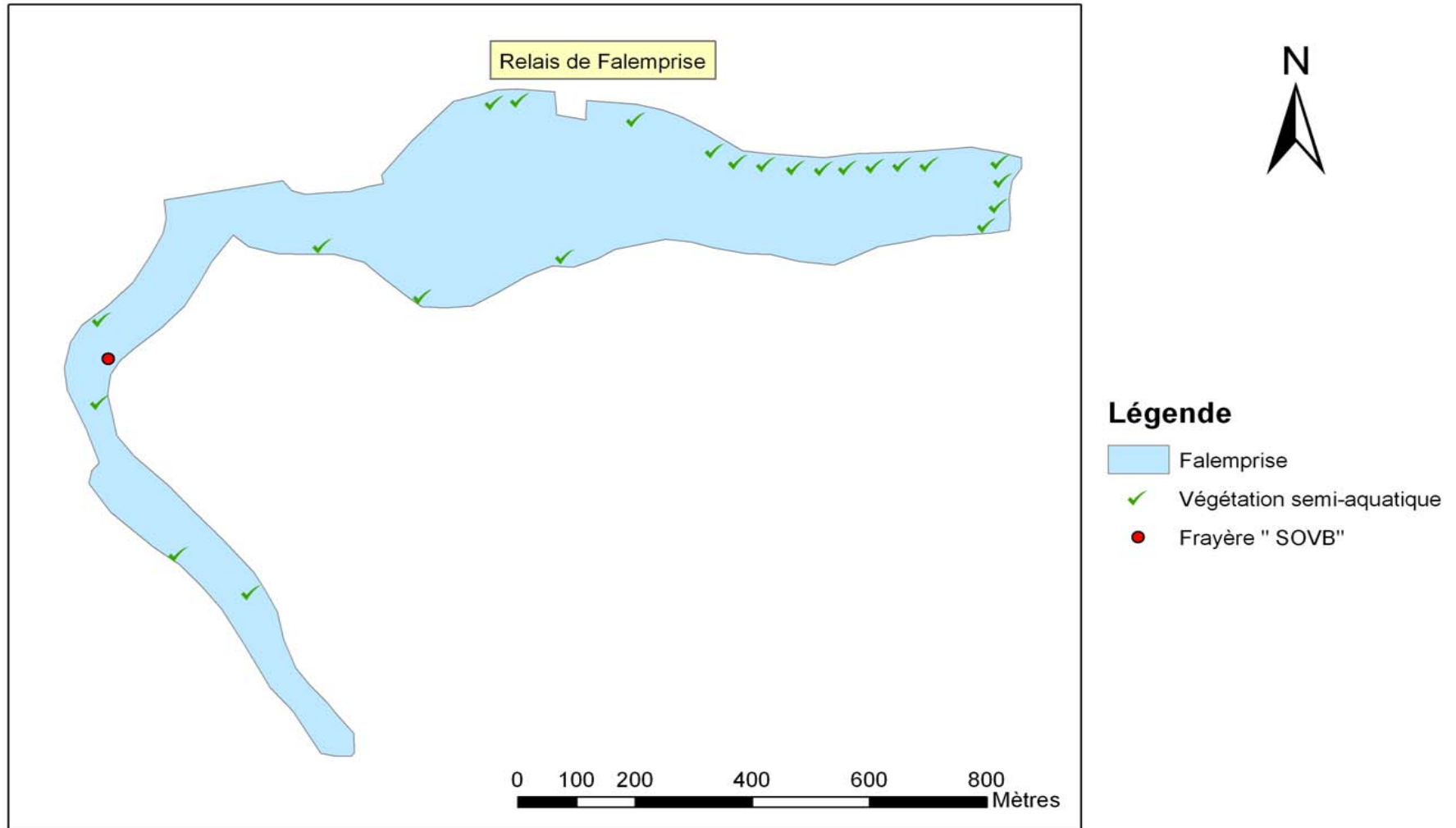


Figure 6.2. Localisation de la frayère artificielle flottante placée dans le lac de Falemprise.

Lac de l'Eau d'Heure

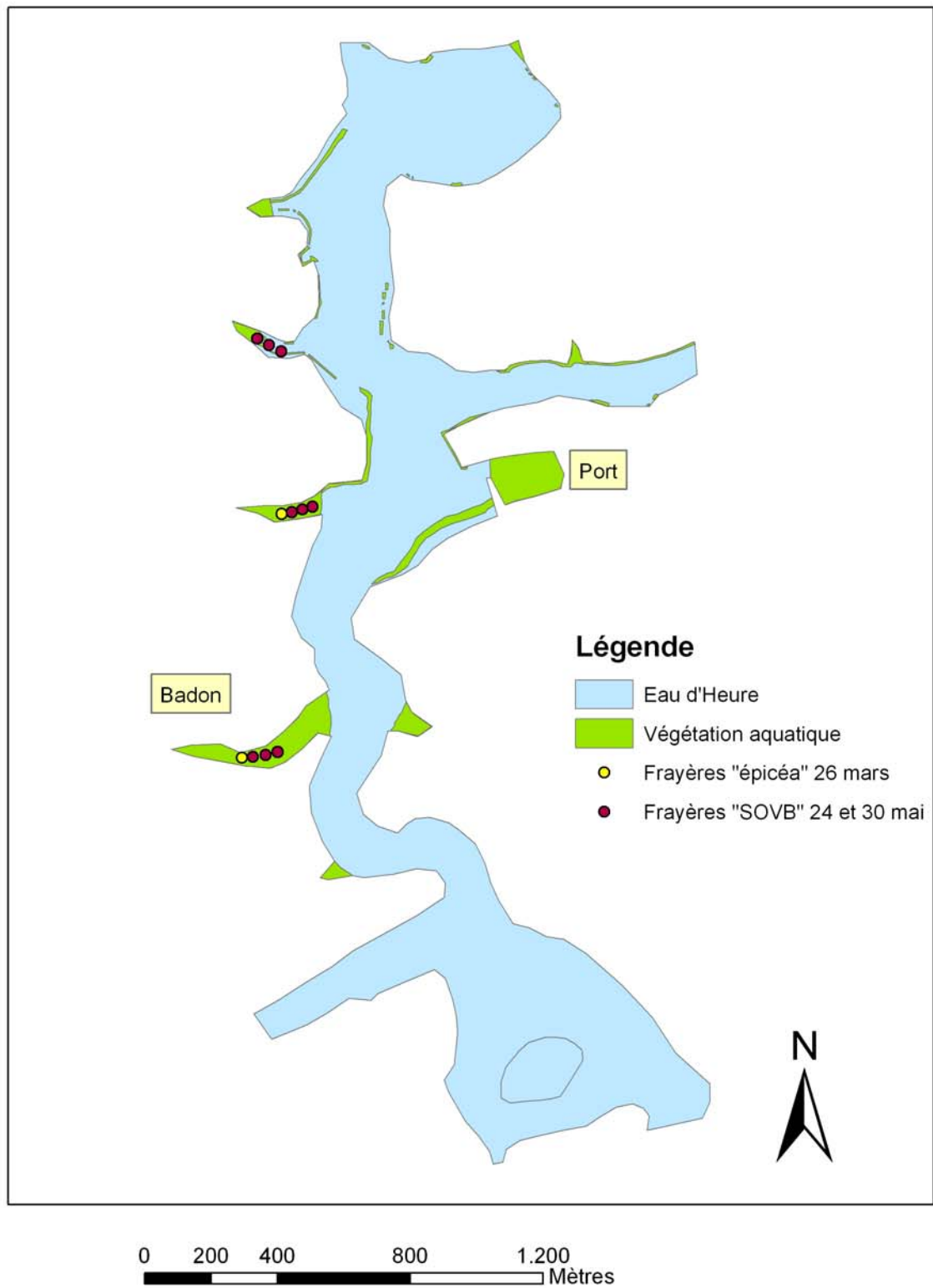


Figure 6.3. Localisation des frayères artificielles flottantes dans le lac de l'Eau d'Heure.

6.4 Observation des pontes

6.4.1 Périodes d'observation

Des œufs ont été observés pour la première fois le 19 avril 2007 sur la frayère placée en face du port dans l'Eau d'Heure à une température proche de 12°C (**Figure 6.7**). Avec l'aide des chercheurs de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes des Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix de Namur, nous avons pu identifier ces œufs comme étant des œufs de gardon (*Rutilus rutilus* L.). Le 23 avril, des œufs ont également été observés sur la frayère de l'anse de Badon à une température de 12,5°C (mesurée à une profondeur de 15 cm). Le frai s'est poursuivi jusque début mai pour aboutir à des frayères lourdement chargées en œufs (**Figure 6.7**). A la Plate Taille, les gardons ont déposé leurs œufs à partir du 30 avril sur la frayère située dans la crique des cabiniers, délaissant les deux autres frayères de ce lac.

Le frai des gardons s'est déroulé sur une période de 15 jours et à des températures croissantes allant de 12 à 15°C. Cela semble assez conforme aux valeurs rapportées par Maitland & Campbell (1992) et inférieures aux valeurs reprises dans Huet (1983). Le léger décalage de la période de reproduction entre l'Eau d'Heure et la Plate Taille provient vraisemblablement de la plus grande l'inertie thermique de ce dernier dont les eaux atteignent plus lentement les températures propices à la reproduction.



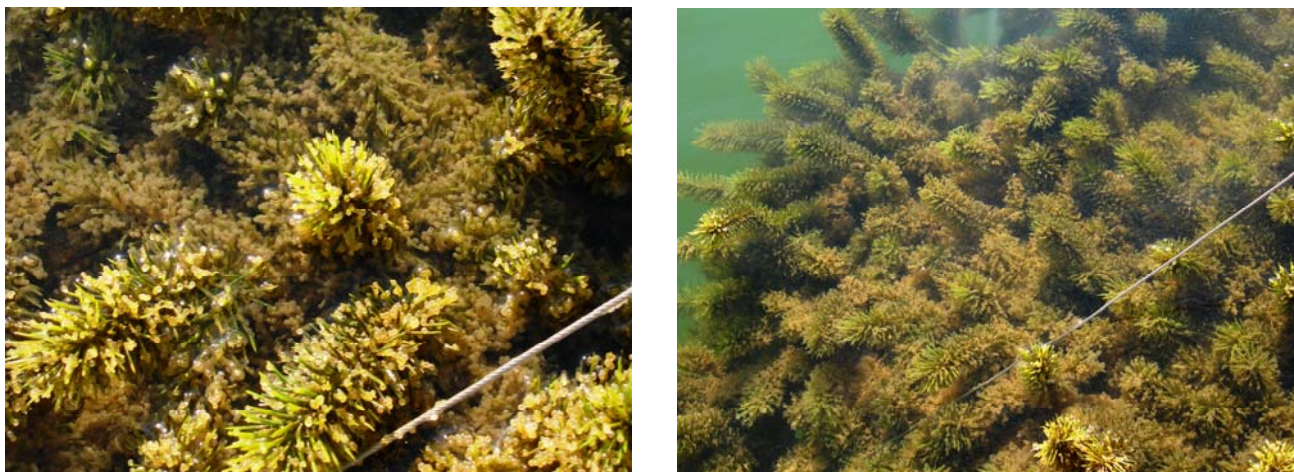


Figure 6.7. Œufs de gardons observés le 03/05/07 provenant d'une frayère artificielle flottante placée dans l'anse de Badon dans le lac de l'Eau d'Heure.

6.4.2 Comptage

Afin d'estimer le nombre d'œufs déposés sur les frayères, deux branches d'épicéa artificiel ont été prélevées aléatoirement dans chacune des frayères. Elles ont ensuite été débitées en tronçons de 2 cm de longueur. Le comptage a été effectué sur trois de ces tronçons pour chacune des branches. Le **tableau 6.4** reprend les résultats de ces comptages. Pour estimer le nombre total d'œufs, il suffit alors de prendre la moyenne du nombre d'œufs et de la multiplier par la longueur totale du substrat de la frayère. Une frayère est composée de 60 bouquets de 10 branches identiques comportant chacune 96 cm de substrat soit 57 600 cm. Ce résultat n'est toutefois plus tout à fait correct car les frayères ont été quelque peu endommagées par les nettoyages fréquents. En remplaçant la longueur d'origine de 96 cm/branche par une longueur moyenne de 81 cm, calculée à partir des branches prélevées pour le comptage des œufs, on obtient une longueur totale corrigée de 48 600 cm de substrat par frayère.

Les résultats de la présente étude (40-72 œufs/cm) sont proches de ceux obtenus par Herman (1993), soit 60 œufs de gardon/cm. Exprimés en nombre d'œufs par cm^2 , nos résultats sont nettement supérieurs (97 à 180 œufs/ cm^2) à ceux de Nash et ses collègues (1999) chez le gardon sur différents substrats naturels (branches de saule (*Salix alba*), d'épicéa (*Picea abies*), érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), tilleul (*Tilia platyphyllos*), poirier (*Pyrus salicifolia*) et laurier (*Laurus nobilis*)) ou artificiels (structures dense ou ouverte), soit une moyenne de 1,5 œuf par cm^2 et un maximum de 10 œufs/ cm^2 , ou à ceux de Bruslé & Quignard (2001) et

Gillet 1989a (1 œuf/cm²). Gillet & Dubois (1995) ont aussi rapportés des résultats inférieurs aux nôtres chez le gardon sur des treillis en plastic (30 à 80 œufs/cm²).

Tableau 6.4. Nombre d'œufs de gardons présents sur des tronçons de 2 cm provenant des frayères artificielles flottantes (2 m²) placées dans les lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille.

	EH Badon	EH en face du port	PT crique des cabiniers
Branche 1 (N œufs/2cm)	156	79	68
	177	172	91
	90	83	102
Branche 2 (N œufs/2cm)	241	82	79
	119	148	87
	78	91	54
Moyenne ± ET (N œufs/2cm)	144 ± 61	109 ± 40	80 ± 17
Longueur totale du substrat (cm)	48 600	48 600	48 600
Nombre d'œufs (N) estimés par frayère	3 596 400	2 648 700	1 944 000
Densité des œufs (Nombre par cm ²)	180	132	97

EH, Eau d'Heure ; PT, Plate Taille ; ET ; écart-type.

Par contre, nos résultats sont similaires à ceux rapportés chez le gardon dans le lac de Genève par Gillet & Dubois (1995) sur des branches naturelles d'épicéa (25 à 248 œufs/cm²). Avec les mêmes frayères que les nôtres, Cazin (1994) a rapporté chez la carpe commune (*Cyprinus carpio*) jusqu'à 255 œufs/ cm². Les performances des frayères dans la présente étude se sont donc révélées excellentes et conformes aux meilleurs résultats publiés dans la littérature technique et scientifique identifiée par les auteurs du présent rapport. Cela confirme le fait que le gardon privilégie un substrat structuré, dense et artificiel (Nash *et al.*, 1999).

Sachant qu'une femelle de gardon pond entre 5.000 et 200.000 œufs en fonction de sa taille (Maitland & Campbell, 1992), on peut estimer que 45 à 1800 femelles ont pondu sur les frayères durant cette étude.

6.4.3 Reproduction naturelle

Bien que nous n'ayons pas cherché à en faire un inventaire exhaustif, des pontes de poissons ont pu être observées sur certains substrats naturels des lacs. Ainsi, des œufs de perche (*Perca fluviatilis*) ont été déposés sur la ceinture de genêts morts dans la Plate Taille. Malheureusement, une partie d'entre eux a été perdue du fait de la mise à sec induite par le marnage (**Figure 6.8**). Cette observation illustre parfaitement les conditions de reproduction difficiles rencontrées par les poissons et confirme la nécessité d'entreprendre des actions en faveur de la reproduction dans ces lacs de marnage.



Figure 6.8. Rubans d'œufs de perche mis partiellement à sec par le marnage dans le lac de la Plate Taille, 26/04/2007.

Lors d'une visite de contrôle des frayères de la Plate Taille, une forte agitation a été remarquée dans la végétation de bordure de la grande crique de la Fontaine aux Planes. Après inspection, des œufs de poisson y ont été découverts. Un échantillon a été prélevé et placé en aquarium afin d'obtenir des larves et procéder à leur identification. Il a été établi, avec l'aide du personnel des Facultés de Namur, qu'il s'agissait de brèmes. Malgré la présence d'une frayère toute proche, aucun œuf n'a été déposé sur le substrat artificiel.

En plus des pontes, des alevins ont pu être observés. Ainsi, de jeunes brochets 0+ ont été aperçus à plusieurs reprises sur les frayères artificielles et dans la végétation rivulaire tant à l'Eau d'Heure qu'à la Plate Taille (**Figure 6.9**). Cela démontre qu'une reproduction naturelle de brochet est intervenue dans ces lacs beaucoup plus tôt que prévu au **tableau 2.2**, soit probablement au courant du mois de mars.

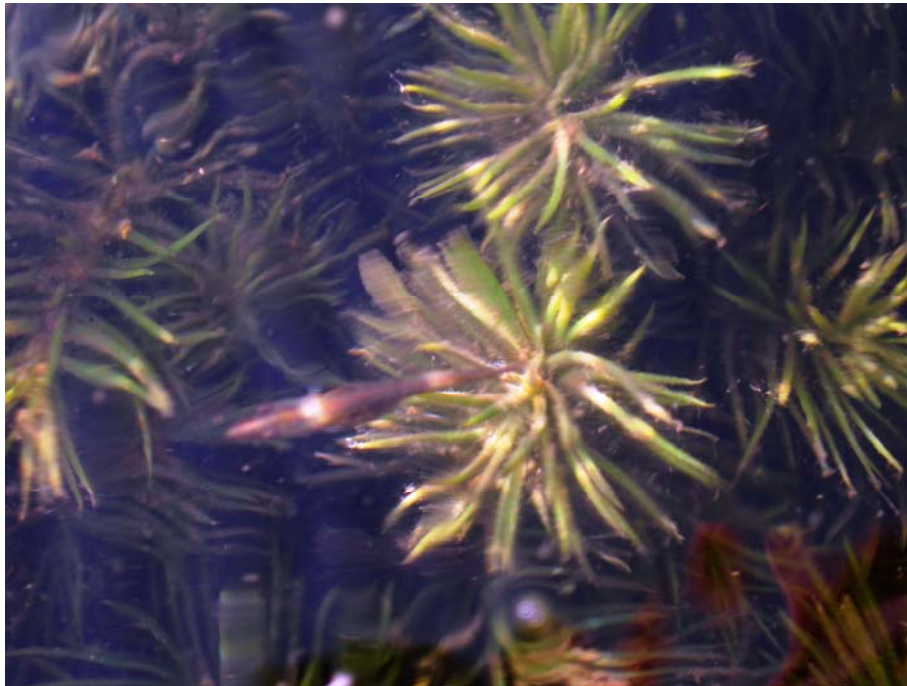


Figure 6.9. Alevin de brochet caché dans une frayère artificielle flottante placée dans le lac de la Plate Taille (30/04/2007).

De grands bancs de gardons 1+ et de perches 1+ ont été observés dans tous les lacs et plus particulièrement dans la Plate Taille et Falemprise. Le **tableau 6.5** reprend les dates de reproduction constatées dans les lacs en 2007.

Tableau 6.5. Dates et températures de pontes constatées pour l'année 2007 pour les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure.

Espèces	Eau d'Heure		Plate Taille	
	Date	Température	Date	Température
Gardon	Du 19/04 au 03/05	De 12 à 15°C	Du 30/04 au 07/05	De 13,6 à 15°C
Perche	-	-	26/04	15°C
Brème	-	-	07/06	19,8°C

6.4.4 Taux d'éclosion

Le but des frayères artificielles n'est pas seulement d'obtenir des pontes, mais d'assurer un meilleur recrutement des espèces phytophiles. Une des étapes primordiales consiste à vérifier que les œufs se développent correctement jusqu'à l'éclosion.

A. En milieu artificiel

Après comptage, les œufs de gardon prélevés sur les frayères artificielles ont été placés dans un aquarium intérieur (à la Maison wallonne de la pêche) muni d'un aérateur ; ceci afin de vérifier leur viabilité et de calculer le taux d'éclosion. La forte température de l'eau, proche de 20°C, a permis un développement rapide des œufs pour aboutir à des éclosions au bout de quelques jours. Les œufs non-éclos ont été comptés en utilisant la même méthode qu'auparavant. Le taux d'éclosion en milieu artificiel a été estimé à 98,2% (**Figure 6.10**).



Figure 6.10. Larves de gardons provenant des œufs déposés sur les frayères artificielles flottantes de la Plate taille et de l'Eau d'Heure.

B. En milieu naturel

Plusieurs brins de substrat ont été placés dans des sacs en toile moustiquaire et fixés aux frayères le 03/05 (**Figure 6.11**). Bien que les conditions de développement à l'intérieur du sac et sur la frayère proprement dite ne sont pas tout à fait équivalentes (prédation et colmatage moindre), cette expérience constitue une source d'information importante pour connaître le devenir des œufs dans les lacs. Des larves ont été observées dans les dispositifs : le 07/05

(frayère en face du port) et le 10/05 (Badon) pour l'Eau d'Heure et le 18/05 pour la Plate Taille. Le temps d'incubation de 18 jours qui, compte tenu de la température de l'eau, correspond approximativement à 250 degrés*jours, semble un peu long par rapport aux valeurs habituellement rapportées dans la littérature pour le gardon, 4-10 jours ou degrés*jours (Everard, 2006). Ces dispositifs, bien que rudimentaires, ont permis d'apporter la preuve que des éclosions ont bien lieu *in situ* sur des frayères artificielles placées dans la Plate Taille et l'Eau d'Heure (**Figure 6.11**).

Gillet & Dubois (1995) ont rapporté un taux de survie des œufs de gardon de 95% sur des substrats artificiels, ce qui s'expliquerait par l'incapacité des invertébrés prédateurs de coloniser les frayères artificielles avant que les éclosions n'interviennent. En effet, la mortalité des œufs de gardon causée par la prédation des invertébrés peut atteindre 43% en milieu naturel (Diamond, 1985b). De ce point de vue, le caractère artificiel du substrat semble ainsi constituer un avantage sur les substrats naturels.



Figure 6.11. Sac en toile moustiquaire mis en place sur les frayères artificielles flottantes des lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure pour déterminer la présence d'éclosion des œufs de gardons.

6.5 Analyse économique

6.5.1 But

Le but de ce chapitre, qui n'a que valeur d'essai étant donné son caractère original, est de comparer les coûts de « production » d'une même quantité de poissons provenant soit du recrutement naturel via des frayères artificielles, soit d'un empoissonnement effectué avec des poissons provenant de pisciculture (au prix du marché actuel).

6.5.2 Méthodologie et hypothèses de travail

Pour pouvoir effectuer cette comparaison, nous avons dû poser un certain nombre d'hypothèses. En effet, le peu de connaissance de la dynamique des populations piscicole des lacs de l'Eau d'Heure et le manque de recul quant aux performances des frayères artificielles dans ce milieu, ne permettent pas de prévoir les coûts de façon déterministe ni précise.

Les paramètres utilisés et les hypothèses qui y sont attachées sont les suivants :

- **L'achat des frayères et son amortissement** : ce dernier est calculé en divisant la somme des coûts d'investissement liés aux frayères (frayères, poids et cordes) par leur durée de vie (estimé à 5 ans) ;
- **Le type d'opération** : le montage, la mise en place, les visites d'entretien, le retrait, le nettoyage des frayères et la rédaction des rapports techniques ;
- **Le temps nécessaire par frayère pour réaliser ces différentes opérations:**

Opération	Durée EH + PT (heures)
montage	4
mise en place	8
visite-entretien	4
retrait	8
nettoyage	4

- Les lacs où sont placées les frayères : deux hypothèses ont été testées à ce niveau, soit placer l'ensemble des frayères dans la Plate Taille soit les répartir de manière égale entre ce dernier et l'Eau d'Heure ;
- **La période opérationnelle de fonctionnement des frayères sur le terrain** : du 1^{er} février au 31 août, soit 7 mois par an;

- **Le nombre de visites d'entretien** : est fonction de la vitesse de colmatage propre à chaque lac : tous les 3-4 jours pour l'Eau d'Heure et tous les 10 jours pour la Plate Taille, sauf pendant la période du boom phytoplanctonique de la première moitié du printemps (du 2/03 au 15/05) durant laquelle les visites ont lieu tous les 7 jours;
- **Le nombre de personnes nécessaires** : pour des raisons pratiques, il est préférable de disposer de trois personnes pour les visites d'entretien des frayères, toutefois, il est possible de les réaliser avec deux personnes pour peu qu'une de celles-ci soit familière avec l'utilisation et la conduite de l'embarcation. Pour réaliser les calculs nous avons retenu la première hypothèse, soit trois personnes ;
- **La formation du personnel** : deux ouvriers et un scientifique. Leur salaire annuel brut est basé sur les barèmes officiels de la Région wallonne (Code de la Fonction Publique) pour 2007, soit 15250 euros pour un gradué et 21112 euros pour un bio-ingénieur. L'influence sur la rentabilité des frayères des salaires des deux types de scientifiques, un gradué et un bio-ingénieur, a été testée. Le coût « employeur » est calculé en tenant compte des charges de l'employeur et sur la base des heures prévues à prester.
- **Les espèces se reproduisant effectivement chaque année sur les frayères**: le gardon et le brochet ;
- **La densité des œufs sur les frayères** : la densité des œufs de gardons est supposée être égale à celle constatée *in situ* en 2007 sur les lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille (moyenne) ou de la Plate Taille seule. La densité des œufs de brochet est reprise des travaux de Herman (1993) ;

Densité des œufs (nombre/m²)	
Gardon	
EH + PT	1 365 000
PT	1 000 000
Brochet	
	399

- **La surface des frayères utilisée effectivement par les poissons pour frayer** : vu l'importance de ce facteur sur la rentabilité, les valeurs suivantes ont été testées : 25, 50, 75 et 100 % des 76 m² de frayères disponibles ;

- **Les taux de survie** : d'après les données de la littérature.

Taux de survie (%)				
Année	1	2	3	4
Gardon ¹				
« Survie forte »	1	60	70	90
« Survie moyenne »	0,1	50	60	80
« Survie faible »	0,01	40	50	70
Brochet ²				
« Survie forte »	1	60	60	60
« Survie moyenne »	0,5	50	50	50
« Survie faible »	0,05	40	40	40

¹ Cowx & Frear (2004), Everard (2006)

² Nihouarn (1999), Bry *et al* (1995), Le Louarn (1984), Masse *et al* (1993), Souchon (1984), Chancerel (2003)

- **Le poids moyen des poissons en fonction de leur âge** :

Poids moyen (g)			
Année	1	2	3
Gardon ¹			
	5	50	125
	5	50	125
	5	50	125
Brochet ²			
	150	625	1750
	150	625	1750
	150	625	1750

¹ Everard (2006) et Arrignon

² Craig (1996)

- **Les prix des poissons élevés en pisciculture en 2007 :**

Prix pisciculture (Euros/kg) TVAC (21%)	
Gardon	3,82
Brochet	11,13

Prix 2007 de la pisciculture Frédéric HENRY de Lessive

Les prix sont supposés stables à moyen terme (4-5 ans).

- **L'âge des poissons :** de 1 à 4 ans.

A partir de ces paramètres nous avons pu estimer la biomasse « générée » par la mise en place des frayères, en déterminer son coût et le comparer à celui d'une biomasse identique produite en pisciculture. Les calculs ont été réalisés au moyen d'un fichier Excel dans lequel nous avons fait varier les paramètres en fonction des hypothèses fixées initialement. La feuille de calcul comporte trois parties principales dont l'objectif est d'estimer :

- le coût des frayères (« coût frayère »). Il est obtenu en additionnant les coûts du matériel (amortissement sur 5 ans) et des frais de personnels. Ces derniers sont calculés à partir du nombre et de la durée des différentes actions à réaliser ;
- la quantité de poissons liée à la présence des frayères. Elle est estimée à partir du nombre total des œufs pondus sur les frayères (densité*surface de frayère) et du taux interannuel de survie. Nous obtenons ainsi une estimation du nombre d'individus produits. Ce nombre, une fois multiplié par le poids moyen des poissons pour leur classe d'âge nous donne la biomasse des poissons issus des frayères (et son évolution en fonction de l'âge des poissons) ;
- le coût d'une même biomasse de poissons provenant de pisciculture (« coût pisciculture »). Il suffit de multiplier les valeurs obtenues au point précédent par le prix en pisciculture des espèces considérées ici.

L'indice de rentabilité des frayères artificielles (« IRFA ») est donné par le rapport entre les valeurs obtenues pour le « coût pisciculture » et celles du « coût frayères ». Des valeurs supérieures à 1 révèlent une plus grande rentabilité des frayères artificielles flottantes par rapport à l'empoissonnement réalisé à partir de poissons produits en pisciculture, pour les hypothèses retenues.

6.5.3 Résultats

Les résultats sont présentés sous la forme de graphiques où l'axe des ordonnées est toujours l'indice de rentabilité IRFA et l'axe des abscisses l'âge des poissons (années). L'influence de différents facteurs sur la rentabilité estimée est examinée ci-dessous.

A. Influence de l'espérance de vie des poissons et du taux de survie interannuel

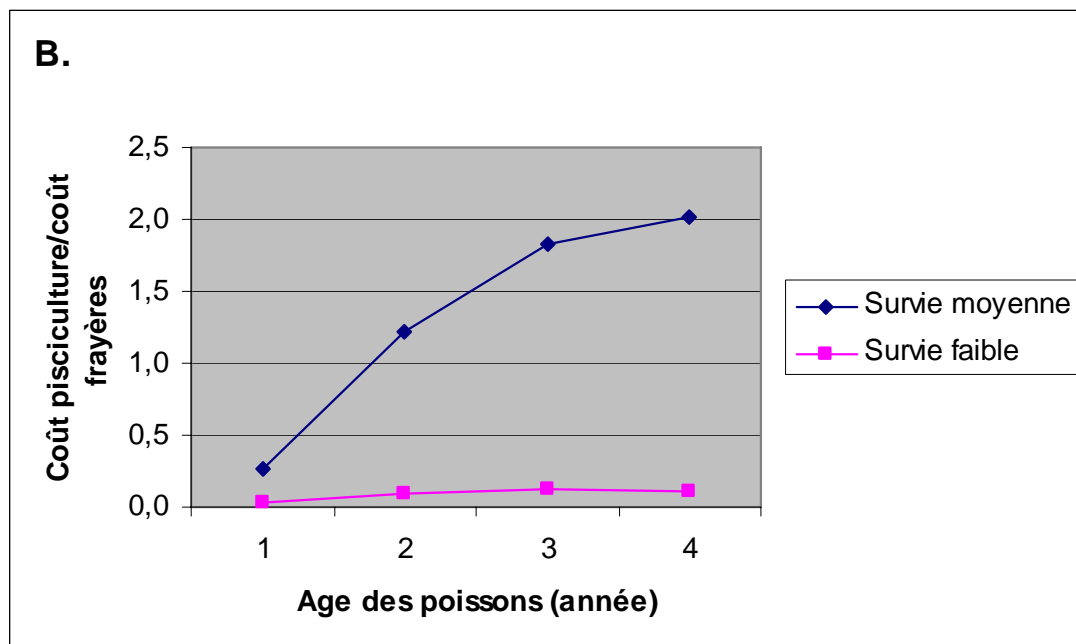
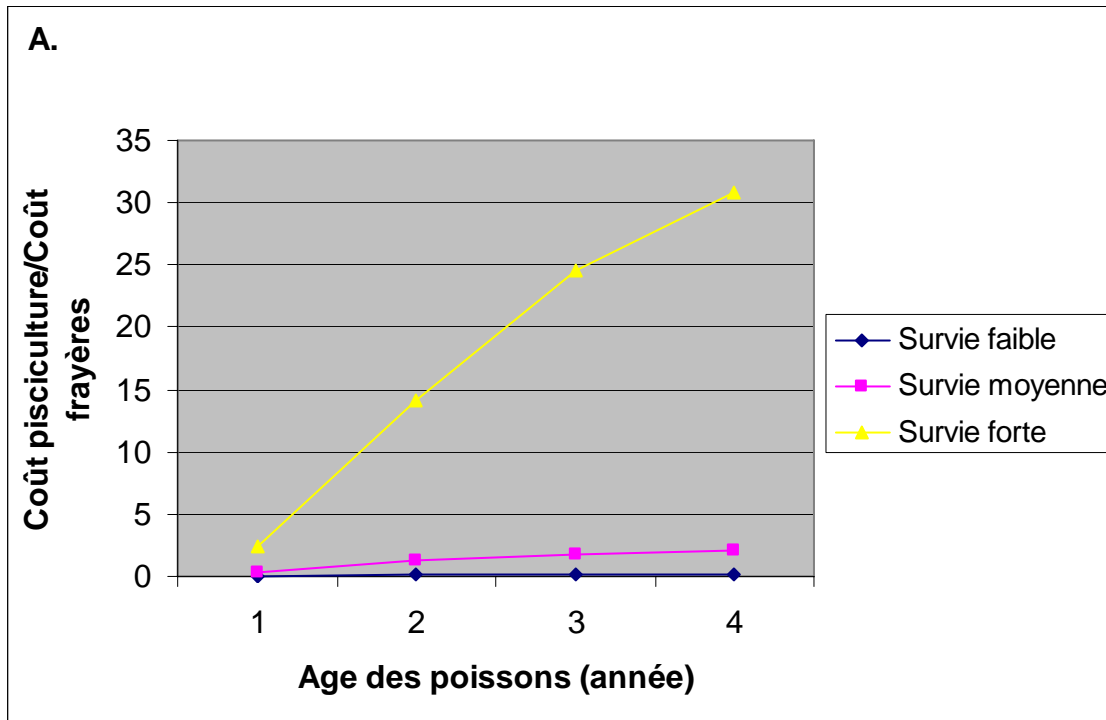


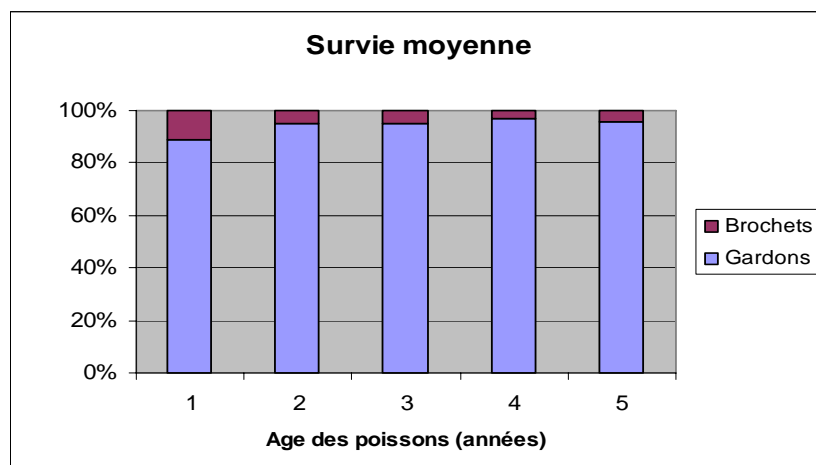
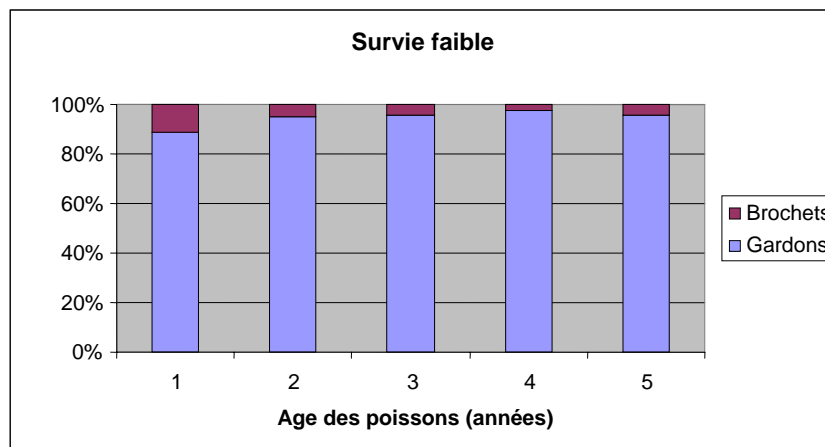
Figure 6.13. Estimation de la rentabilité des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l'Eau d'Heure en fonction de l'âge des poissons et des taux de survie d'une année à l'autre ; A. Survie faible, moyenne ou forte, B. Survie faible ou moyenne.

Il apparaît d'emblée, à la **figure 6.13 A**, que dans le cas de « forts taux de survie » (1% la première année), les frayères artificielles sont nettement plus avantageuses que l'empoissonnement à partir de piscicultures et ce dès l'âge de 1 an. Pour un taux de survie moyen, l'IRFA reste positif si la durée de vie des poissons dépasse 1 an. Il oscille entre 0 et 0,1 dans le cas d'un taux de survie fiable. Le taux de survie fort aboutit, dans tous les cas, à un net avantage pour les frayères artificielles par rapport à la pisciculture et ce même si l'on fait varier les autres paramètres du modèle. Les résultats obtenus pour un faible taux de survie, se trouvent chaque fois en deçà de la rentabilité. Pour ces raisons, seuls les résultats du taux de survie moyen seront examinés ci-dessous plus en détails.

B. Importance relative des espèces sur la rentabilité

La **figure 6.14** présente la répartition des coûts entre les deux espèces considérées. On observe que les brochets entrent pour une part minime allant de quelques pourcents pour le taux de survie fort jusqu'à approximativement 15%, pour les taux de survie moyen et faible.

La « cinquième année » représente la moyenne des quatre premières années.



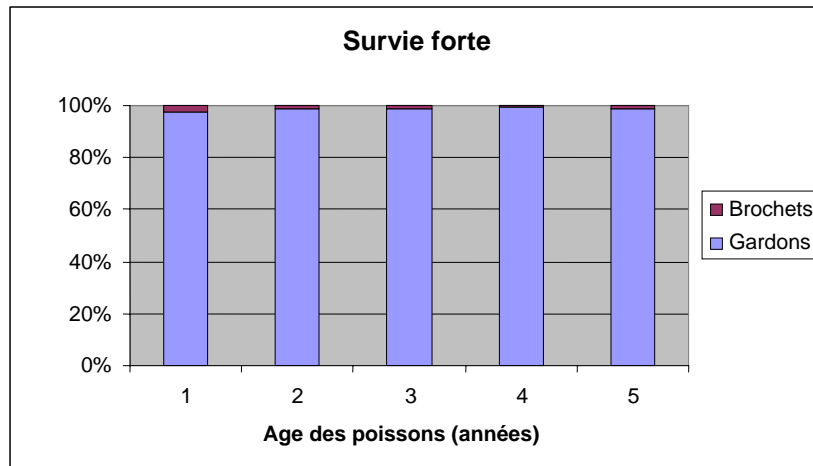


Figure 6.14. Rentabilité estimée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l’Eau d’Heure en fonction de l’âge des poissons et des taux de survie : Importance relative des espèces sur le rendement global des frayères. La 5^{ème} colonne représente la moyenne des années 1 à 4.

C. Pourcentage du substrat utilisé pour la reproduction dans le futur

Il est très difficile de savoir quelle surface de frayère sera effectivement utilisée par les poissons pour déposer leurs œufs. De plus, les densités d’œufs de gardons proviennent de l’expérience menée cette année où les poissons n’avaient, outre les éventuels substrats naturels, à leur disposition que des surfaces de frayères réduites: 4m² pour l’Eau d’Heure et 5m² pour la Plate Taille. Il est possible qu’une fois mis en présence d’une surface plus importante de frayère (par exemple 76 m²), les individus répartissent leur pontes sur les différentes frayères et que la densité en œufs s’en voit réduite. C’est pourquoi, pour tenir compte de ces deux aspects, nous avons étudié l’influence du pourcentage de la surface utilisée effectivement par les poissons sur la rentabilité prévisionnelle des frayères en conditions de survie moyenne (**Figure 6.15**). On observe, comme attendu, une diminution graduelle de la rentabilité des frayères en fonction de la surface utilisée allant de 0,1 pour l’âge de 1 an et 25% de la surface de frayères effectivement utilisée à 2 pour l’âge de 4 ans et 100% de la surface des frayères effectivement utilisée.

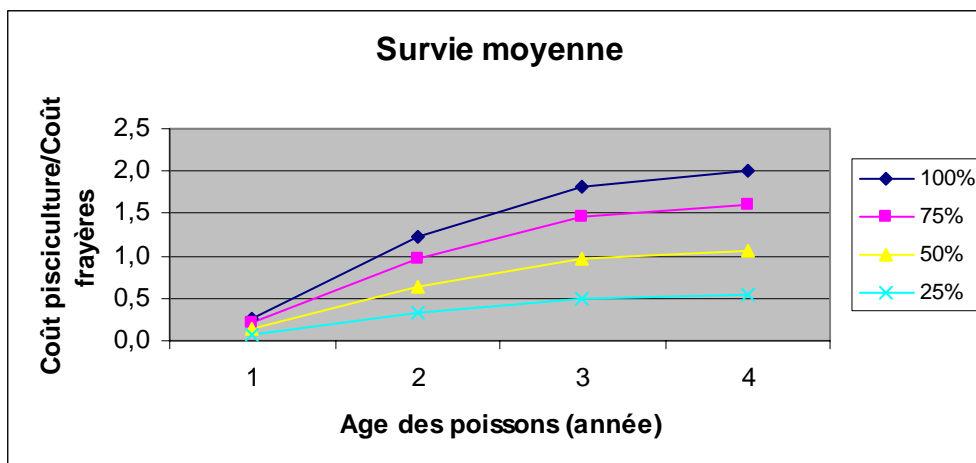


Figure 6.15. Rentabilité estimée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l’Eau d’Heure en fonction de l’âge des poissons et des taux de survie : Pourcentage de la surface des frayères effectivement utilisée par les géniteurs comme substrat de ponte.

D. Profil du personnel

Selon les missions qui lui sont confiées, le scientifique pourra avoir un profil différent. La **figure 6.16** présente les variations du rapport Coût pisciculture/Coût frayère (indice IRFA) selon le type de profil et le salaire qui s’y rapporte. Les deux courbes étant très proches, il apparaît que le choix du type de scientifique n’influence pas de façon importante la rentabilité des frayères artificielles en conditions de survie moyenne.

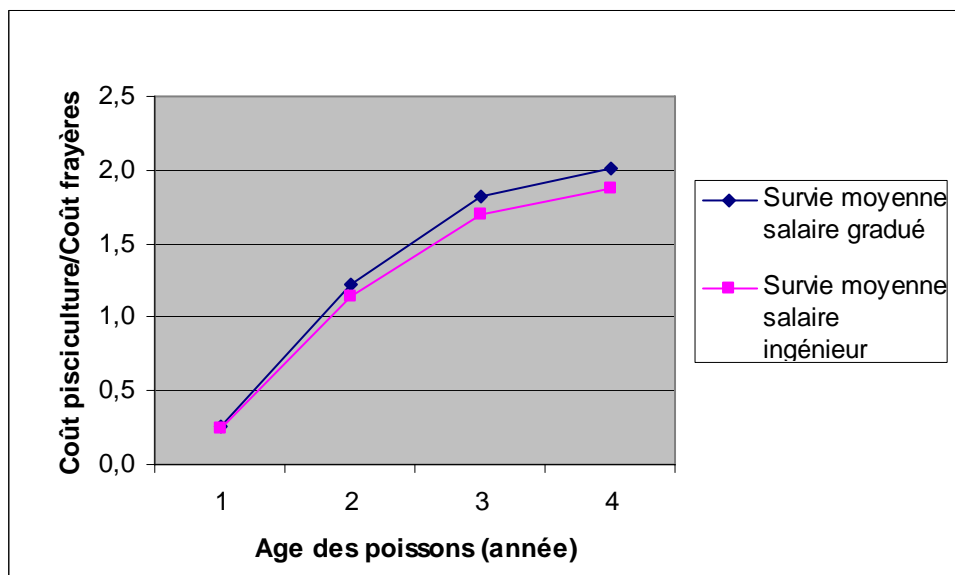


Figure 6.16. Rentabilité projetée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l’Eau d’Heure en fonction de l’âge des poissons et des taux de survie : Influence du type de scientifique et du salaire s’y rapporte.

F. Répartition spatiale des frayères entre les lacs

Au vu des différences dans les problèmes de colmatage des frayères constatées entre les différents lacs, le nombre de visites et donc les frais engagés sont différents suivant les différentes localisations des frayères. Deux hypothèses ont été testées : placer les frayères dans la seule Plate Taille ou les répartir paritairement entre la Plate Taille et l'Eau d'Heure. Le cas de l'Eau d'Heure seule n'a pas été envisagé car le nombre de visites et leur durée sont pratiquement identiques à ceux de la Plate Taille. La **figure 6.17** présente ces résultats. On peut constater que la répartition spatiale des frayères artificielles dans les lacs n'influence leur rentabilité que de façon marginale.

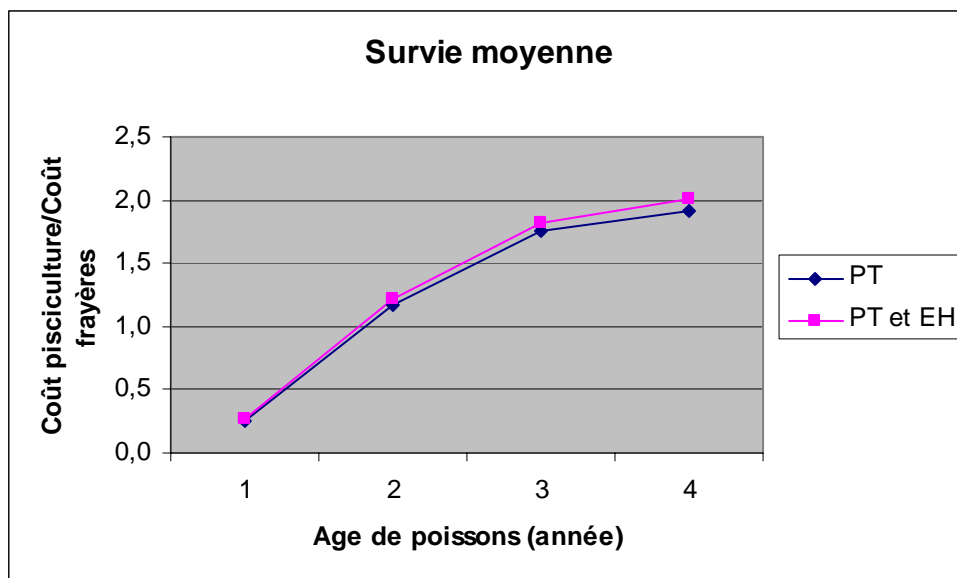


Figure 6.17. Rentabilité projetée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l'Eau d'Heure en fonction de l'âge des poissons et des taux de survie : Influence de la répartition spatiale des frayères entre deux lacs Plate Taille (PT) et Eau d'Heure (EH) ou dans un seul lac (PT).

F. Densité des œufs de brochet sur les frayères

La densité en œufs de brochet relevé par Herman (1993) est relativement faible : 400 œufs/m². Il semble toutefois, d'après l'expérience des pêcheurs de la Ligue Royale de Propagande des pêcheurs de l'Est et de la Fédération des Sociétés de Pêche Vesdre-Amblève, que ce chiffre soit imputable, en partie, à la perte des œufs lors de la manipulation des frayères à l'action des vagues. L'ajout d'une couche d'Enkammat permet de les récupérer et d'augmenter ainsi les densités. Trois densités ont été testées ici (**Figure 6.18**) :

- 400 œufs/m² (Herman (1993) pour des frayères « SOVB »)
- 3000 œufs/m²
- 6559 œufs/m² (Herman (1993) pour des frayères « épicéa »)

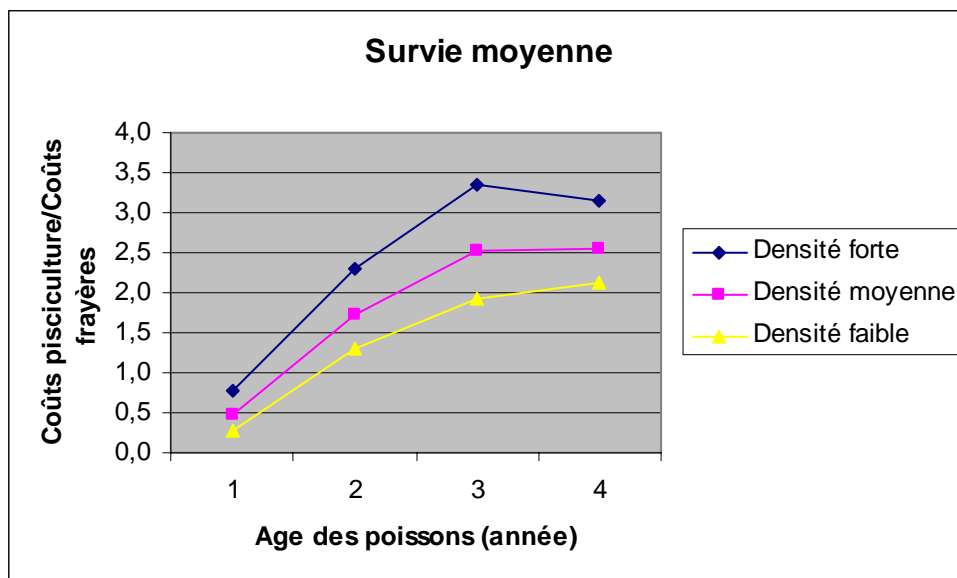
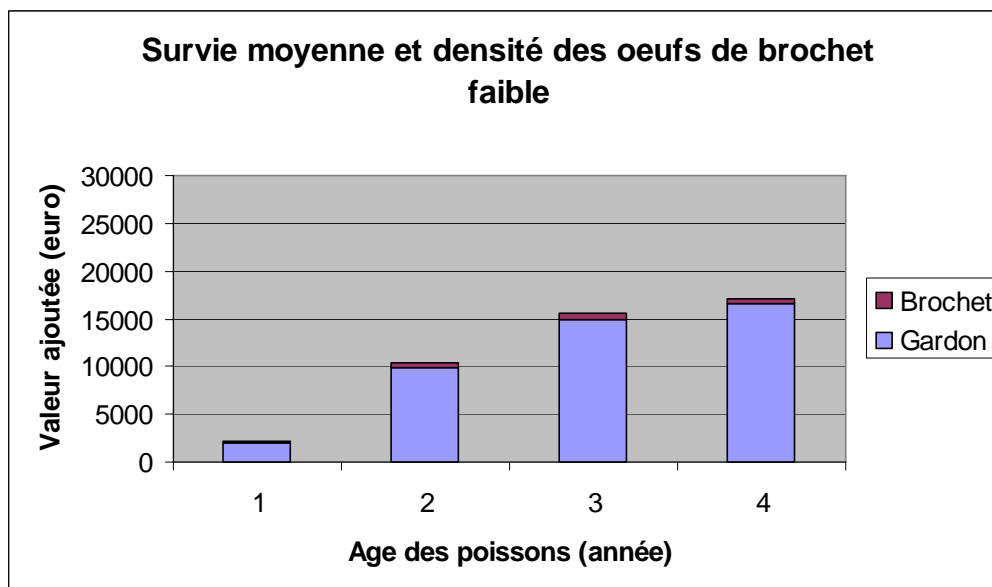


Figure 6.18. Rentabilité projetée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l’Eau d’Heure en fonction de l’âge des poissons et des taux de survie. Influence de la densité des œufs de brochet sur les frayères.

La répartition des rendements entre les espèces en est évidemment affectée. La **figure 6.19** présente les modifications de cette répartition en fonction de la densité en œufs de brochet en conditions de survie moyenne (1% pour la première année).



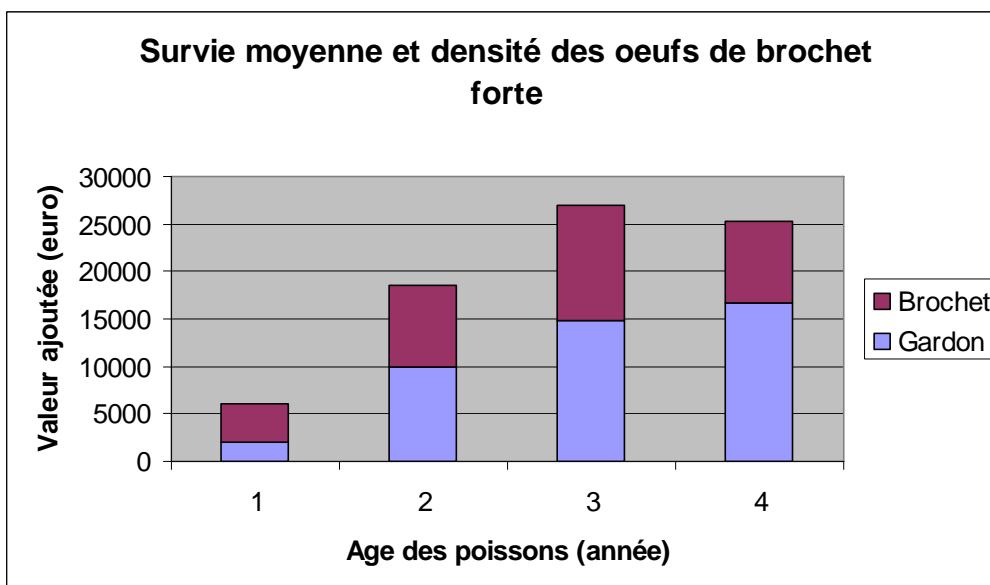
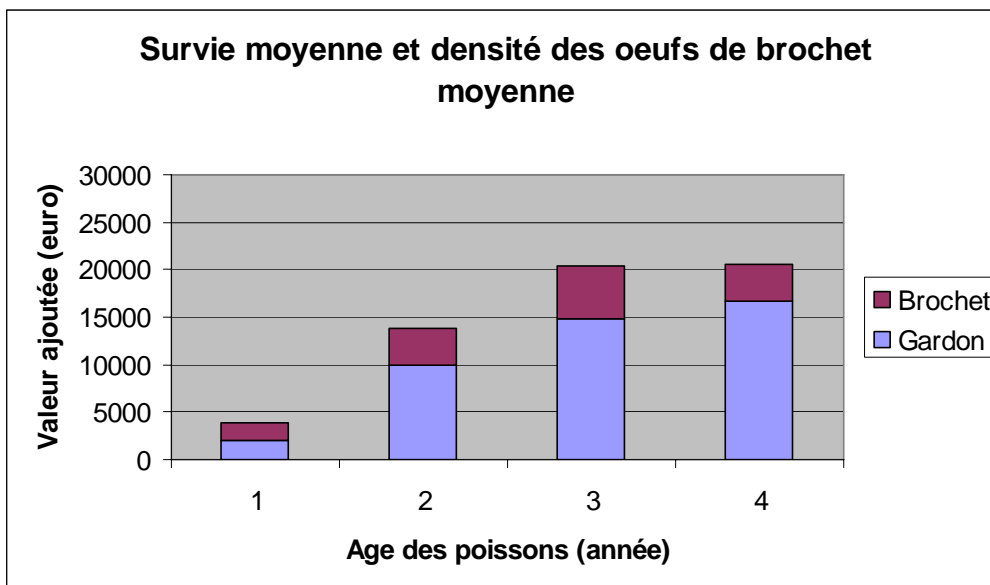


Figure 6.19. Rentabilité projetée des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l’Eau d’Heure en fonction de l’âge des poissons pour un taux de survie moyen : Importance relative des espèces sur la rentabilité des frayères en fonction de la densité effective des œufs de brochet présente sur les frayères.

En conclusion, dès la deuxième année de la pause des frayères et moyennant une utilisation effective de la surface des frayères de 75%, la mise en œuvre des frayères artificielles flottantes est plus rentable que le déversement de poissons de pisciculture et ce pour tous les cas de figures étudiés ici. La rentabilité des frayères croît avec l’âge des poissons et n’est que peu influencée par la formation du scientifique engagé et la répartition spatiale des frayères dans les lacs. Par ailleurs, la rentabilité est directement proportionnelle à la densité des œufs qui sont effectivement déposés sur les frayères et le pourcentage de la surface des frayères effectivement utilisée par les poissons, hypothèses qu’il y a lieu de vérifier à l’avenir.

7 Alternatives et aménagements complémentaires aux frayères flottantes sur les lacs de l'Eau d'Heure

7.1 Introduction

Comme nous l'avons vu aux chapitres 4 et 5, les poissons ont des exigences en termes d'habitats qui ne peuvent se résumer aux besoins de la reproduction. Dans ce contexte, la pose de frayères artificielles flottantes ne peut à elle seule suffire à augmenter le recrutement naturel des lacs de marnage et doit être accompagnée d'autres mesures d'amélioration des habitats des espèces de poisson ciblées. Par ailleurs, certaines espèces piscicoles des lacs ne peuvent utiliser les frayères artificielles flottantes car ces dernières ne correspondent pas à leurs besoins spécifiques pour la reproduction. C'est par exemple le cas de la truite commune présente dans les lacs grâce aux reempoissonnements, mais incapable de s'y reproduire par manque de ruisseaux frayères adaptés.

Fort de ces constats, nous proposons dans ce chapitre des alternatives possibles aux frayères artificielles flottantes ou des aménagements complémentaires à ces frayères visant à améliorer le recrutement naturel de certaines espèces de poisson dans les lacs de l'Eau d'Heure. Il s'agit ici d'un travail préliminaire qui n'a d'autres ambitions que d'élargir le champ de lecture du lecteur du présent rapport. En effet, la technologie utilisée dans ce travail n'est pas la seule disponible et quelques alternatives et aménagements complémentaires aux frayères artificielles flottantes méritent une attention particulière.

7.2 Zone à niveau constant

Une digue munie d'un clapet, placée à l'entrée d'une crique, permettrait d'y maintenir un niveau constant, plaçant les œufs à l'abri des dommages provoqués par le marnage. Cette technique est employée en France dans la retenue du Jaunay (114 ha) où 15 ha du plan d'eau sont maintenus à niveau constant lors de la période de reproduction du brochet (**Figure 7.1**). La production estimée est de 15 000 brochetons. Le coût de l'opération (étude, conception et suivi) a été de 72 400€ en 1990 (Chancerel, 2003). Un aménagement de ce type a été construit par le DCENN du MRW sur un affluent de la Lesse en vue de créer une frayère à brochet dans un ancien bras mort de la Lesse.

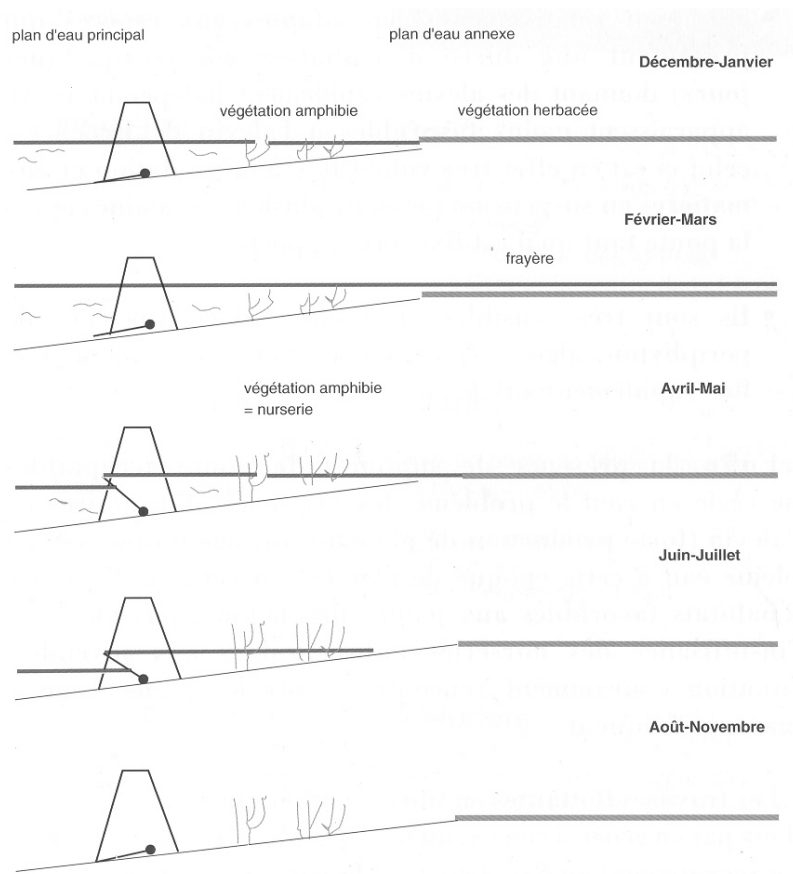


Figure 7.1. Gestion du niveau d'eau dans la frayère à brochet de la retenue du Jaunay (source : Chancerel, 2003).

Cette méthode pourrait être appliquée dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure en barrant une où plusieurs criques. Il est primordial de rechercher un compromis entre l'importance des travaux et la surface de frayère mise à disposition. La crique de Badon, de par sa surface relativement importante (1,2 ha), semble la plus indiquée dans le cas du lac de l'Eau d'Heure. Toutefois, le ruisseau de la Taille à Truites, qui se déverse au bout de cette crique pourrait, par son apport en matières en suspension et en éléments nutritifs, provoquer un envasement et une eutrophisation accrue. Ces deux points devront faire l'objet d'une surveillance si ce site devait être sélectionné. Pour le lac de la Plate Taille, la grande crique située près de la Fontaine aux Planes (2,5ha, **figure 6.1**, p. 70) semble la plus intéressante pour la mise en place d'une zone à niveau constant. En effet, elle présente une surface appréciable et les poissons phytophiles s'y reproduisent déjà. Il s'agit d'un avantage certain dans le cas des espèces telles que le gardon qui retournent frayer chaque année dans les mêmes zones (Gillet, 1989a). Bien qu'aucune ponte de gardon n'ait été recherchée dans cette crique, la présence d'un grand nombre de juvéniles à cet endroit laisse supposer que cette

espèce s'y reproduit. La crique étant bordée de prairies, il faudra surveiller l'eutrophisation qui pourrait être favorisée par l'absence d'ombrage et la température élevée.

Deux points supplémentaires sont à considérer :

- la pêche devra être interdite dans ces zones si un barrage est construit ; or elles sont actuellement très appréciées par les pêcheurs. Des séances d'information devraient avoir lieu pour bien expliquer les motivations de cette interdiction et le bénéfice qu'ils en retireront à moyen terme;
- la réalisation des travaux implique une vidange partielle des lacs ce qui peut avoir des répercussions sur leurs autres fonctions (tourisme, électricité...).

Cette technique permettrait de résoudre les problèmes dus au marnage mais elle semble assez coûteuse, implique des restrictions d'usage (pêche interdite, arrêt local des sports nautiques) et nécessite des réglages fins pour maintenir un niveau d'eau compatible avec l'accès des géniteurs, le développement des œufs et le renouvellement de l'eau.

En conclusion, il y a donc d'étudier plus en profondeur le mode de fonctionnement de ce type d'ouvrage en insistant tout particulièrement sur la gestion du niveau d'eau et ses implications pour le milieu et les différents utilisateurs des lacs.

7.3 Passes à poissons

L'idée est d'utiliser les pré-barrages comme sites de reproduction pour les poissons présents dans l'Eau d'Heure. Pour cela, il faudrait établir une communication entre ces différents plans d'eau au moyen de passes à poissons. Cette idée est à priori intéressante car elle permettrait d'agir sur un facteur essentiel pour la reproduction : assurer l'accès des géniteurs aux frayères. Toutefois, sa mise en œuvre est sujette à bien des questions préalables telles que :

- les passes sont-elles techniquement réalisables ?
- les coûts sont-ils raisonnables (travaux, manque à gagner pour l'activité touristique et la production électrique) ?
- les poissons utiliseront-ils effectivement ces passes ?
- quels moyens doivent être mis en œuvre pour prévenir tout risque de braconnage et de vandalisme ?

Avant de se lancer dans une étude approfondie, il faudrait rechercher des exemples concrets de réalisations de telles passes dans d'autres lacs-réservoirs similaires aux lacs de l'Eau d'Heure.

7.4 Végétalisation des berges et des zones de marnage

Les conditions de vie des zones de marnage des lacs de l'Eau d'Heure ont des conséquences particulièrement sévères pour la végétation. Seules quelques espèces hautement spécialisées, dont les plus courantes sont reprises au **tableau 7.1**, peuvent s'y maintenir durablement. Cette végétation particulière peut mettre des décennies à se mettre en place. Pour accélérer cette lente évolution, il est possible de planter ou de semer les espèces désirées et de transformer des zones nues en zones végétalisées. Les avantages sont nombreux et consistent principalement en (Fraissé 1999) :

- l'activation des chaînes trophiques ;
- la contribution à la lutte contre l'eutrophisation ;
- **la création de zones de frayères ;**
- la création de zones de couvert et de nourriture pour la faune terrestre et la faune ailée ;
- l'amélioration localisée de la turbidité de l'eau ;
- l'amélioration paysagère ;
- la limitation des risques naturels (limiter l'érosion qui peut déstabiliser les sols) ;
- l'augmentation de l'attrait touristique.

Le **tableau 7.1** reprend une liste des dix espèces végétales les plus adaptées aux conditions de marnage et aptes à être implantées (Fraissé, 1999). Le **tableau 7.1** indique également les espèces présentes lors du relevé effectué dans le cadre de la réalisation du rapport IGRETEC (2004).

Tableau 7.1. Espèces sélectionnées pour la végétalisation des berges et des zones soumises au marnage et présence-absence de ces végétaux sur les sites des lacs de la Plate Taille et de l’Eau d’Heure (source : Fraissé, 1999 ; IGRETEC, 2004).

Espèces	Plate Taille		Eau d’Heure	
	Présence/ Absence	Espèces apparentées	Présence/ Absence	Espèces apparentées
<i>Eleocharis palustris</i>			X	
<i>Phalaris arundinacea</i>	X		X	
<i>Deschampsia cespitosa</i>				
<i>Carex hirta</i>		<i>Carex vescicaria</i>		<i>Carex disticha</i> <i>Carex acutiformis</i>
<i>Mentha pulegium</i>		<i>Mentha aquatica</i> <i>Mentha arvensis</i>		<i>Mentha aquatica</i>
<i>Rorippa sylvestris</i>		<i>Rorippa palustris</i>		<i>Rorippa palustris</i>
<i>Lysimachia vulgaris</i>			X	
<i>Lythrum salicaria</i>			X	
<i>Cyperus eragrostis</i>				
<i>Scripus maritimus</i>				

Pour pouvoir survivre dans des conditions de marnage, ces plantes ont obligatoirement besoin d’une période exondée de plusieurs mois chaque année. Des niveaux d’eau chaotiques ne permettent pas l’implantation durable de ces espèces qui ont besoin de cycles assez réguliers. Le lac de la Plate Taille, par ses lâchers d’eau pour soutenir l’été de la Sambre, ne présente pas de cycles suffisamment réguliers pour assurer la pérennité des associations végétales typiques des zones de marnage. Le lac de l’Eau d’Heure, au contraire, présente des variations de niveau plus régulières qui pourraient permettre à cette végétation de se développer. Les données reprises au **tableau 7.1** confirment cet état de fait en indiquant que quatre des dix espèces préconisées par Fraissé (1999) sont déjà présentes à l’Eau d’Heure contre seulement une pour la Plate Taille. Des espèces apparentées aux dix espèces de références ont également été répertoriées.

La végétalisation des zones de marnage est une technique délicate qui nécessite des études approfondies et une mise en œuvre rigoureuse. Une période de mise à sec de la zone à traiter, 6 mois en cas d’utilisation de semences et 4 mois en cas de plantation, devra être respectée au

printemps ou en été. Cette dernière pourra avoir des répercussions sur les diverses activités touristiques et récréatives.

Les variations chaotiques du niveau du lac de la Plate Taille ne permettant pas l'implantation durable de la végétation des zones de marnage, c'est pourquoi nous recommandons de réserver cette technique au seul lac de l'Eau d'Heure. Nous proposons de se fournir en plants des espèces reprise au **tableau 7.1**, et de les planter, dès le printemps 2008, dans des placettes expérimentales en queue de criques. Si ces plants ne sont pas disponibles sur le marché, il sera nécessaire de récolter des graines et de les mettre en pépinière pour obtenir des plantules qui pourraient être mis en place en 2009.

7.5 Immersion d'arbres

Les perches utilisent des branches comme substrat de ponte et notamment la ceinture de genêts mort de la Plate Taille. Malheureusement celle-ci est partiellement découverte par le marnage ce qui entraîne la perte d'une partie des pontes (**Figure 6.8**). Pour remédier à ce problème, des arbres ou arbustes lestés pourraient être immergés dans des zones relativement profondes hors zone de marnage. Cette technique est déjà mise en application par le Service de la Pêche à d'autres endroits.

Malgré les pertes d'œufs occasionnées par le marnage, la population de perches se porte très bien dans les lacs (IGRETEC, 2004 ; observations personnelles). Dès lors, l'immersion d'arbres ne nous paraît pas nécessaire pour l'instant dans ces lacs pour améliorer la reproduction de la perche.

7.6 Déplacement des œufs

Le principe de cette manœuvre consisterait à transporter une partie du frai des carpes et des tanches présentes dans les pré-barrages où la température de l'eau, plus élevée, est propice à leur reproduction, vers les deux grands lacs. Plusieurs choses sont à vérifier avant de se lancer dans ce genre d'opération :

- S'assurer que les carpes et tanches ne se reproduisent pas déjà naturellement dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure ;
- Vérifier que ces espèces se reproduisent dans les pré-barrages ;

- Vérifier qu'il est possible de récolter en nombre important des œufs viables de ces espèces dans les pré-barrages, malgré l'importance du colmatage qui y est observé.
- S'assurer de la bonne survie des œufs et larves après leur transfert.

Pour cela, il peut être envisagé :

- De placer quelques frayères dans les lacs de Féronval et du Ry Jaune à partir du mois de juin pour recueillir la fraye des carpes communes et des tanches ;
- De transporter les frayères chargées d'œufs des pré-barrages vers l'Eau d'Heure et la Plate Taille;
- De suivre l'incubation et l'éclosion des œufs dans leur nouveau milieu ;
- D'étudier la survie des larves et des juvéniles de ces espèces dans les lacs de l'Eau d'Heure.

Néanmoins, l'importance du colmatage observé sur les frayères dans le lac de Falemprise rend à priori difficile la mise en œuvre et la réussite de cette technique. En outre, la question de la survie des larves, une fois écloses, reste entière.

7.7 Création d'îles flottantes

Le principe de cette méthode est le suivant : il s'agit de faire pousser des végétaux sur une structure flottante ancrée au fond, les racines servant de support pour la ponte des poissons. Contrairement aux frayères flottantes, le substrat de ponte se trouve en dessous de la structure, à l'abri des rayons lumineux. On peut donc supposer que le colmatage en sera substantiellement amoindri. Cette diminution permettrait de limiter les entretiens et par conséquent les coûts en personnel. Cette méthode est utilisée actuellement pour épurer les eaux des bassins d'agrément sous le nom commercial de Biohaven™ (**Figure 7.2**).

Avant d'envisager la mise en œuvre de cette méthode, il faudrait vérifier le degré de colmatage des racines sur ce type d'île et que les racines sont effectivement utilisées comme substrat de ponte par les poissons. Une partie de la réponse à cette dernière question est apportée par Herman (1993) qui a constaté que les brochets peuvent utiliser des racines de bordures comme substrat de ponte (**Figure 7.3**). De plus, comme précisé antérieurement, nous avons observé des pontes de brème sur la végétation rivulaire de la Plate Taille (tiges, feuilles et **racines**). Cette technique semble dès lors prometteuse.



Figure 7.2. Îles flottantes Biohaven™ supportant une végétation spécifique mises en œuvre dans le but d'assurer une épuration des eaux de bassins d'agrément. Vue de l'importance du massif racinaire se développant au-dessous de l'île (source : www.etang.ca)

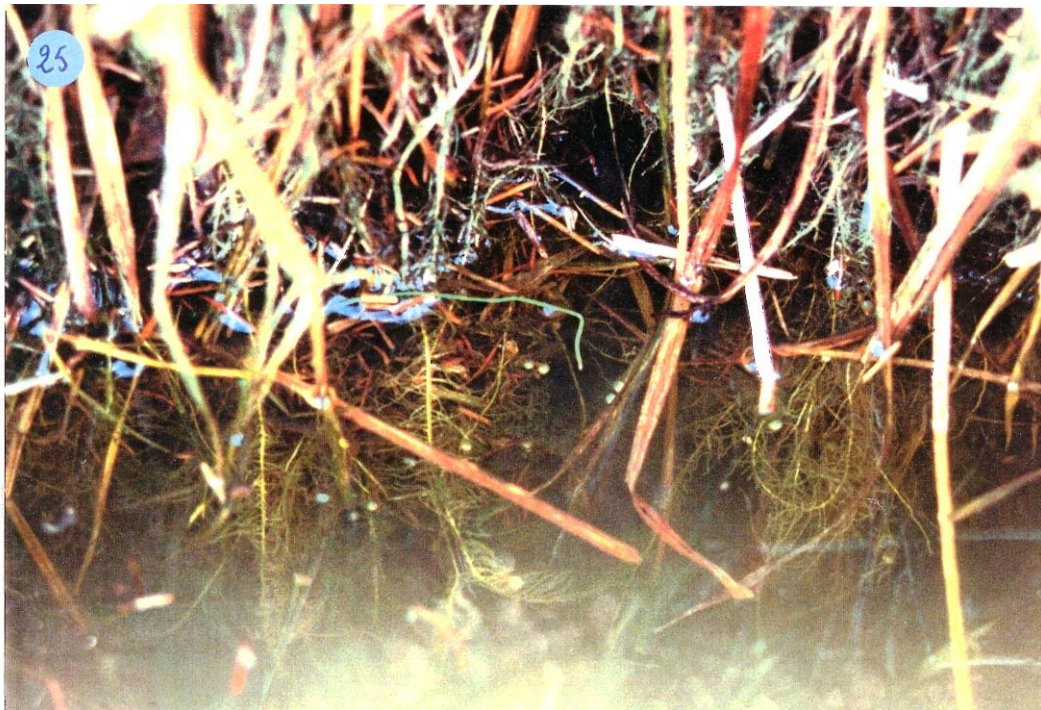


Figure 7.3. Ponte de brochet sur les racines de la végétation rivulaire (Herman, 1993).

Pour étudier la faisabilité de ce type de dispositif sur l'Eau d'Heure, nous proposons de réaliser ou d'acheter quatre à six dispositifs (surface d'approximative de 10 m²) et de les mettre en place sur les lacs au début du printemps 2008 pour permettre aux plantes de se développer rapidement et aux îles d'être opérationnelles le plus tôt possible. Afin de limiter les contrôles et de pouvoir comparer les deux types de dispositifs, nous conseillons de placer les îles flottantes dans les trains de frayères artificielles des lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille.

7.8 Remise en état du ruisseau de la Taille à Truites

Le ruisseau de la Taille à Truites est un petit cours d'eau situé à l'est du lac de l'Eau d'Heure qui se jette dans la crique de Badon. Les 100 derniers mètres de son parcours sont constitués d'une buse enterrée qui débouche dans le lac (**Figure 7.4**). Cette sortie est immergée ou non en fonction du niveau du lac (marnage). A première vue, le faciès de ce ruisseau semble correspondre aux exigences de reproduction de la truite commune. Un problème de piétinement du lit et des berges par le bétail a toutefois été observé (**Figure 7.5**).



Figure 7.4. Ruisseau de la Taille à Truites A et C : arrivée d'eau dans le lac de l'Eau d'Heure, B : faciès général du ruisseau ; D : entrée de la canalisation amenant les eaux du ruisseau dans le lac de l'Eau d'Heure.



Figure 7.5. Berges du ruisseau de la Taille à Truites endommagées par le piétinement du bétail.

Pour confirmer l'impression générale de bonne qualité du milieu, un indice biotique global normalisé (AFNOR, 2004) a été réalisé. Le score obtenu pour l'IBGN était de 13/20 (classe de variété 6 et groupe faunistique indicateur 8) ce qui correspond à une qualité d'eau considérée comme « bonne ». En particulier des larves de trichoptères des familles des *Sericostomatidae*, *Philopotamidae* et *Glossosomatidae* ont été identifiées. La liste complète des familles présentes est reprise à l'annexe A.

D'après les pêcheurs locaux, lors des premières années de mise sous eau du lac, plusieurs géniteurs de truite commune ont tenté de remonter le courant pour frayer dans le ruisseau mais se sont trouvés piégés devant la buse. Cette observation met en évidence d'une part, l'intérêt du ruisseau pour la reproduction des truites communes et d'autre part, l'impossibilité pour elles de franchir la buse pour y accéder.

La restauration de la correction entre le lac et le ruisseau accompagnée de la pose d'une clôture pourrait permettre aux truites communes présentes dans le lac de venir frayer.

Les actions qui pourraient être entreprises sont les suivantes :

- Placer une clôture le long du cours d'eau pour empêcher le piétinement des berges par le bétail ;
- Enlever les 100 m de buse pour faire apparaître le ruisseau à l'air libre (restauration d'un segment de frayère et accès des géniteurs) ;
- S'assurer de l'utilisation des frayères par la population de truites communes présentes dans le lac et du suivi de la production du ruisseau (pêche électrique et/ou piège à la montaison/dévalaison) ;
- En cas de non-fréquentation des frayères par les truites du lac, ensemencement du ruisseau avec des œufs (boîtes Vibert) ou des alevins de cette espèce pour reconstituer une population reproductrice inféodée au ruisseau pour la reproduction.

8 Information des pêcheurs et du grand public

8.1 Brochure « *Frayères artificielles flottantes* »

Comme prévu dans les objectifs de la présente mission, nous avons développé un avant-projet de dépliant (format A4 à 3 volets) d'information relatif aux frayères artificielles flottantes à destination des pêcheurs et du grand-public. Celui-ci est repris ci-dessous en petit format basse résolution (**Figure 8.1**) ainsi qu'en annexe B (format A4, haute résolution). Ce projet sera soumis à l'avis du Comité d'accompagnement du présent projet, puis édité par un imprimeur après approbation du projet.

8.2 Pages Internet

Une page Internet a été développée spécifiquement pour le projet des frayères artificielles flottantes sur le site de la Maison wallonne de la pêche (URL : http://www.maisondelapeche.be/frayeres_fr.php). Elle est en ligne depuis août 2007 et est disponible en français et en néerlandais. Par ailleurs, un projet de page Internet a été soumis à l'ASBL Les Lacs de l'Eau d'Heure pour son site Internet (URL : <http://www.lacsdeleaudheure.be>).



Figure 8.1. Projet de brochure d'information des pêcheurs et du grand public relatif aux frayères artificielles flottantes dans les lacs de l'Eau d'Heure.

9 Discussion

9.1 Les objectifs de la mission ont-ils été remplis ?

Rappel des objectifs

Les objectifs de la mission de mise en place des frayères artificielles flottantes dans les lacs de l'Eau d'Heure ont été largement atteints :

- Sélection de la technologie sur la base de sa fiabilité, de son efficacité et de son coût, en partant de la littérature scientifique et technique disponible (voir §3);
- Sélection des endroits les plus appropriés sur les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure pour l'installation des frayères artificielles flottantes, zonage, marquage sur le terrain et cartographie (voir § 6.2 et 6.3) ;
- Installation de plusieurs frayères à trois endroits des lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure (voir § 6.2 et 6.3) ;
- Détermination des périodes d'immersion des frayères les plus appropriées aux différents endroits d'installation et des méthodes d'entretien ;
- Observations semi-quantitatives des pontes (voir § 6.4);
- Validation du système des frayères artificielles dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure (§6) ;
- Information des pêcheurs et du grand public (§8).

Tous ces objectifs ont été remplis. Nous ne nous sommes toutefois pas limités à ces objectifs. Ainsi, la qualité de l'habitat étant un facteur primordial de survie des poissons, surtout pour les jeunes stades, nous avons effectué une recherche bibliographique afin d'identifier les caractéristiques spécifiques des habitats et les besoins biologiques pour la reproduction des géniteurs et des larves-alevins de gardon et de brochet. Ensuite, fort de ces informations, nous avons proposé des techniques alternatives ou des aménagements complémentaires à l'installation des frayères artificielles flottantes. Enfin, une évaluation originale de la rentabilité des frayères artificielles flottantes a été proposée. Il reste à présent à discuter l'ensemble de ces résultats afin de répondre à la question « Les frayères artificielles flottantes sont-elles un succès dans les lacs de l'Eau d'Heure ? ».

9.2 Les frayères artificielles flottantes sont-elles un succès ?

Faisabilité technique

Un des buts de cette étude était de vérifier qu'il est possible de mettre en œuvre la technique de frayères artificielles flottantes dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure. Nous avons pu montrer que les dispositifs mis en place dans les deux lacs sont bien adaptés aux conditions hydrologiques et météorologiques (marnage, courant, vent, vagues) rencontrés dans ces derniers, les poids assurant le maintien des dispositifs en place et les bouées permettant aux frayères de suivre le niveau de l'eau. En outre, la collaboration avec le personnel de l'ASBL Les Lacs de l'Eau d'Heure a été un succès pour la pose, le contrôle et l'entretien des frayères. La mise à disposition du bateau n'a pas posé de problèmes si ce n'est, comme prévu, lors de la saison touristique (à partir de mi-juin) où il est affecté en permanence à la surveillance/sécurité des différents utilisateurs du lac de la Plate Taille.

Colmatage

La vitesse de colmatage du substrat des frayères artificielles a présenté une variabilité temporelle et spatiale dans les lacs.

D'un point de vue temporel, on remarque une forte augmentation du colmatage au début du printemps. Celle-ci est provoquée par le boom phytoplanctonique qui a été observé dans de nombreux lacs dont celui de la Plate Taille et celui de l'Eau d'Heure (IGRETEC, 2004). Une fois ce pic de développement passé, le colmatage observé sur les frayères s'est ralenti sans pour autant disparaître.

D'un point de vue spatial, on observe des différences à deux niveaux :

A. Entre les différents lacs

La vitesse de colmatage est nettement plus importante dans l'Eau d'Heure et Falemprise où l'apport de nutriments provenant des rejets des villages environnants (IGRETEC, 2004) et la température plus élevée, accélèrent le développement des algues. Il en résulte que le nombre de visites nécessaires pour maintenir le substrat à un niveau de propreté optimal pour la fraie diffère suivant le lac en question :

- Plate Taille : 1 visite/semaine jusqu'à la fin du boom phytoplanctonique de printemps
1 fois tous les 10 jours après le boom de phytoplancton

- Eau d'Heure : tous les 3-4 jours
- Falemprie : pas adapté à l'utilisation de ce type de dispositif.

Les frayères placées dans le lac de l'Eau d'Heure se colmatent rapidement si elles restent 2-3 semaines sans être nettoyées, comme pendant la période d'incubation des œufs sur les frayères ou en cas d'indisponibilité du personnel. Les algues vertes filamenteuses prennent alors l'ascendant sur les diatomées et recouvrent l'entièreté du substrat. L'usage de la brosse à main ne suffisant plus pour le nettoyage, il faut alors sortir les frayères du lac et les passer sous un jet d'eau à haute pression, ce qui représente un travail très lourd.

B. Au sein d'un même lac

Comme précisé au § 6.3, la vitesse de colmatage au sein d'un même lac peut être différente suivant la localisation des frayères. Il semble que ces différences soient imputables à l'arrivée d'éléments nutritifs par un cours d'eau (Badon), mais surtout à l'intensité de l'exposition solaire des emplacements choisis. En effet, dans le lac de la Plate Taille, nous avons pu observer un colmatage moindre des frayères placées à l'ombre des arbres. Cela s'explique vraisemblablement par le caractère autotrophe des algues responsables du colmatage.

Cependant, sous réserve d'un entretien adapté aux différents lacs et sites, le colmatage n'est pas un obstacle à l'utilisation de frayères artificielles flottantes dans les lacs de l'Eau d'Heure (sans considérer ici les pré-barrages).

Efficacité

Plus de 9 millions d'œufs de gardons ont été pondus sur les frayères artificielles entre le 19 avril et le 7 mai de la saison 2007, mettant en avant l'intérêt de cette espèce pour ce type de dispositif. En outre, les tests d'éclosion *in situ* et *ex situ* (aquarium d'intérieur) ont montré la bonne qualité des pontes en mettant en évidence des taux d'éclosion très élevés des œufs (presque 100%) et la bonne survie des larves en aquarium.

Les autres poissons phytophiles présents dans les lacs, à savoir le brochet, la brème, la carpe, la tanche, le rotengle et dans une moindre mesure la perche et la grémille, n'ont pas pondu sur les frayères lors de cette étude. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce fait. De façon générale, il est probable que le niveau exceptionnellement haut de l'eau du lac de la Plate Taille ait permis à ces espèces de trouver des branches et de la végétation rivulaire

en suffisance, ce qui n'a pas favorisé leur reproduction sur les substrats artificiels. Cependant, il est fort probable que lors d'une année moins favorable pour les lacs sur le plan hydrologique, ces zones naturelles de frai ne soient plus accessibles et que les géniteurs utilisent plus intensivement les substrats artificiels mis à leur disposition. Les années 2006 et 2007, par le niveau élevé de l'eau des lacs, ont de ce point de vue été particulièrement favorables à la reproduction naturelle des poissons même si les variations de niveau liées à la production d'hydro-électricité ont détruit une partie des pontes (**Figure 6.8**). Toutefois, d'après une analyse des fréquences de hauteur d'eau des lacs, ces conditions propices à la bonne réussite du frai sont plutôt exceptionnelles comme indiqué à la **figure 2.4** (cote maximale de 250 m atteinte 0,43 % du temps entre 1981 et 2006). D'autre part, il est possible que les poissons aient été effrayés par les visites répétées des frayères et qu'ils aient préféré s'en éloigner. Dans le cas du brochet, la mise en place des frayères le 22 février 2007, a peut-être eu lieu trop tardivement. En effet, la période de reproduction de cette espèce peut débuter dès fin janvier. En outre, selon Gillet (1989a), les brochets ont besoin de lieux de pontes relativement vastes (jusqu'à plusieurs hectares). Plusieurs frayères placées à proximité immédiate les unes des autres pourraient sans doute se rapprocher des conditions idéales de ponte.

Rentabilité

Le calcul de la rentabilité des frayères artificielles flottantes est très fortement fonction des hypothèses de travail fixées. Elle est basée sur la comparaison entre la valeur ajoutée des frayères (production de poissons par reproduction naturelle) et le coût engendré par un empoissonnement équivalent à partir de poissons de pisciculture.

Il est très difficile d'estimer avec précision le succès réel du recrutement. En effet, celui-ci est fonction d'un grand nombre de variables non-maîtrisables et parfois difficilement identifiables, qui peuvent influencer de façon très importante la survie des individus. La très grande sensibilité des larves et des jeunes alevins font de la première année de vie des individus une période critique tout à fait déterminante pour le recrutement. Pour compenser partiellement l'absence de données concernant la dynamique des populations de poissons dans les lacs considérés, nous avons utilisé des chiffres de survie tirés de la littérature scientifique des lacs pour effectuer les calculs. Il est bien entendu, qu'une étude approfondie de la dynamique des populations de poissons des lacs de l'Eau d'Heure serait de toute première

importance pour affiner les résultats obtenus dans ce domaine. La rentabilité (Indice IRFA) des frayères artificielles flottantes placées dans les lacs de l'Eau d'Heure est comprise entre:

- 3 à 30 pour des taux de survie « forts » ;
- 0,3 à 2 pour des taux de survie « moyens » ;
- Proche de 0,1 pour des taux de survie « faibles ».

La rentabilité des frayères est fortement influencée par le nombre d'espèces qui utilisent les frayères successivement au cours de la période de mise en place. Pour effectuer les calculs de rentabilité, nous avons restreint à deux les espèces prises en compte : le gardon, parce qu'il s'est effectivement reproduit sur les frayères, et le brochet car il représente une espèce de très haute valeur écologique et halieutique et un candidat potentiel à l'utilisation des frayères. Cependant, il est tout à fait possible, que d'autres espèces de poisson utilisent à l'avenir les frayères et fassent ainsi augmenter du même coup leur rentabilité.

L'importance relative du brochet dans la valeur ajoutée des frayères est relativement faible (maximum 15%). Ce résultat est dû à la faible densité en œufs de brochets pondus sur les frayères (Herman, 1993). L'ajout d'une couche d'Enkamat permettrait d'augmenter cette dernière comme le montrent les résultats obtenus par la Fédération des Sociétés de Pêche Vesdre-Amblève (doublement du nombre d'œufs de brochet présents sur les frayères de type SOVB entre 2001 et 2002 après leur modification alors que l'année 2002 s'est révélée être nettement moins propice à la reproduction du brochet que 2001). Les résultats de rentabilité obtenus pour trois densités d'œufs de brochet (400, 3000 et 6500 œufs/m²), mettent en évidence l'augmentation de la valeur ajoutée ainsi que la part de celle-ci attribuable au brochet.

L'utilisation de frayères artificielles flottantes présente plusieurs avantages par rapport aux empoissonnements réalisés avec de poissons provenant de piscicultures. Ces avantages sont très difficilement chiffrables mais contribuent à la dynamique de l'écosystème et possèdent une valeur intrinsèque. Les principaux avantages identifiés sont les suivants :

- Les œufs, larves et alevins qui disparaissent entrent dans la chaîne alimentaire stimulant ainsi la production générale des lacs et notamment celle des poissons carnassiers, très appréciés des pêcheurs ;

- Les poissons sont mieux adaptés aux conditions rencontrées dans le milieu, où ils sont nés, et présentent une rusticité a priori plus élevée qu'en élevage ;
- Diminution du risque d'introduction de maladies à travers les rempoissonnements ;
- Diminution du risque d'apport d'espèces non-désirables parfois accidentellement présentes dans les lots de poissons provenant d'étangs d'élevage.
- Participation active des pêcheurs locaux à la gestion piscicole et halieutique.

Ces avantages, bien que non chiffrables, ne doivent pas être sous-estimés.

En conclusion, en condition moyenne de survie, les frayères artificielles flottantes semblent plus avantageuses que l'empoissonnement réalisé avec des poissons d'élevage ; mais certaines hypothèses de calcul devraient être vérifiées expérimentalement dans les lacs de l'Eau d'Heure (pourcentages de survie d'une année à l'autre des espèces cibles, pourcentage des frayères véritablement utilisées par les géniteurs, etc.).

Besoins en habitats

Comme décrit dans la partie présentant les caractéristiques biologiques de la reproduction et des premiers stades de vie du brochet et du gardon, le taux de survie des larves est très fortement influencé par la qualité de l'habitat et principalement par la densité des végétaux aquatiques qui s'y trouvent. Les alevins de brochets restent encore très inféodés aux herbiers tandis que les gardons ont plutôt tendance à les éviter et se concentrent dans les zones peu profondes proches de la rive. En l'absence d'une végétation suffisante, les alevins de brochets sont soumis à une forte prédation ce qui nuit au recrutement de cette espèce. Il est donc primordial de s'assurer de l'adéquation entre les caractéristiques du milieu de vie et les besoins spécifiques des différentes espèces.

Le marnage a des influences très néfastes sur l'implantation de la végétation, ce qui nuit à la reproduction des poissons phytophiles mais également aux premiers stades de vie de leur descendance. Les actions proposées tels que la végétalisation des berges et des zones découvertes par le marnage, la création de zones à niveau d'eau constant ou l'installation d'îles végétales flottantes peuvent apporter une solution partielle à ce problème.

L'implantation de dispositifs tels que les frayères artificielles flottantes, ayant pour but de permettre ou d'augmenter la reproduction des poissons, doit se faire dans un milieu apte à

assurer la survie des larves et des alevins. Dans le cas contraire, tous les efforts consentis le seront en pure perte. Il convient donc d'entreprendre en parallèle des actions de restauration des habitats.

Amélioration de la rentabilité des frayères et alternatives

Selon les conseils des membres de la Ligue Royale de Propagande des pêcheurs de l'Est, il semble judicieux d'ajouter une couche d'Enkamat en dessous des ballais de polypropylène des frayères de type SOVB. Le but de la manœuvre est de récupérer les œufs qui pourraient être arrachés par les vagues et éviter leur destruction par prédation ou asphyxie. Les œufs de brochet sont particulièrement visés par cette opération car ils sont nettement moins collants par rapport à ceux des cyprinidés et ont tendance à se détacher facilement de ce type de substrat. Lors de cette étude, les frayères ont été mises en place sans avoir été modifiées afin qu'elles soient immédiatement opérationnelles et ne pas accentuer le retard dû à des problèmes en usine. En outre, la période de reproduction du brochet étant terminée, le risque de perte d'œufs était moindre et ne justifiait pas la modification immédiate des frayères.

Les diverses propositions alternatives et complémentaires aux frayères artificielles flottantes reprises au chapitre 7 sont très intéressantes et participeraient à la mise en place d'une reproduction naturelle efficace des poissons phytophiles dans les lacs de l'Eau d'Heure. Elles peuvent être classées différemment suivant les modalités de leur mise en œuvre :

- celles réalisables à court terme et sans achat de matériel supplémentaire : déplacement des œufs et immersion d'arbres ;
- celles réalisables à court terme et nécessitant l'achat de matériel : mise en place d'îles flottantes, végétalisation des berges du lac de l'Eau d'Heure et restauration du ruisseau de la Taille à Truites ;
- celles réalisables à moyen terme et nécessitant la réalisation de travaux plus lourds : mise en place de zones à niveau d'eau constant (barrage à clapet) et réalisation de passes à poissons.

Comme précisé au § 7.4, la population de perches présente dans les lacs est suffisamment importante et ne nécessite pas d'apport de substrat de ponte. L'immersion d'arbres peut toutefois être envisagée pour compenser le manque d'herbier et fournir un refuge aux alevins.

Les îles flottantes semblent particulièrement intéressantes car leur mise en œuvre est très proche de celle des frayères artificielles flottantes (même dispositif d'ancrage, mêmes localisations). Le nombre de visites d'entretien paraît toutefois beaucoup plus faible et se limite au fauchage périodique de la végétation. Cette technique nécessite peu de main d'œuvre mais doit encore être testée pour s'assurer que l'ombrage de la structure de l'île limite effectivement la prolifération des algues responsables du colmatage.

La mise en place de barrages à clapet pour maintenir un niveau d'eau constant dans la crique de Badon dans le lac de l'Eau d'Heure et dans la crique de la Fontaine aux Planes dans le lac de la Plate Taille ainsi que la réalisation de passes à poissons entre le lac de l'Eau d'Heure et les trois pré-barrages sont des actions lourdes à étudier, planifier et mettre en œuvre. Elles ont toutefois le grand avantage de fournir à la fois un substrat de ponte aux géniteurs et une zone de nurserie propice à la survie et à la croissance des alevins.

La restauration du ruisseau de la Taille à Truites est une mesure complémentaire à la mise en place des frayères artificielles flottantes. En effet, les truites ne sont pas susceptibles de se reproduire sur ces dernières. Cependant, cette action s'inscrit dans la même logique de favoriser le recrutement naturel des poissons des lacs.

L'amélioration des frayères artificielles par l'ajout d'une couche Enkamat et la mise en œuvre simultanée de diverses actions complémentaires ou alternatives telles que l'implantation d'îles flottantes et la végétalisation des berges, devraient permettre d'améliorer considérablement le recrutement des poissons des lacs en leur fournissant un substrat de ponte ainsi qu'un habitat adapté à la survie et à la croissance de leur progéniture.

10 Perspectives

Implantation des frayères

De nombreux œufs de gardon ont été déposés sur les frayères, mettant en avant l'efficacité de ce type de dispositif dans les lacs de l'Eau d'Heure. Il serait donc très intéressant de poursuivre l'expérience, lors des années à venir, pour mieux comprendre l'influence de paramètres tels que des conditions météorologiques, la surface, les lieux d'implantation et les périodes de mise à disposition des frayères. Grâce aux observations réalisées lors de cette

étude, nous pouvons désormais proposer un schéma plus favorable d'implantation des frayères artificielles flottantes.

Pour la Plate Taille (**Figure 10.1**) les emplacements suivants sont proposés :

- 5 et 6 : colmatage faible ;
- 1 : zone de fraie des gardons (sur frayères artificielles) et colmatage léger à moyen ;
- 7 : zone de fraie des brèmes et brochets (sur substrat naturel) ;
- Boma : pose d'une frayère pour tester la vitesse du colmatage et l'intérêt de cette zone peu profonde pour les poissons phytophiles.

Pour l'Eau d'Heure (**Figure 10.2**) les emplacements suivants ont été retenus :

- 1 et 2 : zone de fraie de gardon (sur frayères artificielles) ;
- 3 : zone aux caractéristiques proches de celles des zones 1 et 2 pouvant également servir à la fraie des gardons ;
- 4 : recherche des zones de ponte ;
- 5 : test sur la vitesse de colmatage dans une des seules zones plus ombragées du lac.

Modification des frayères

Pour mieux retenir les œufs de brochet et assurer une meilleure reproduction de ceux-ci, une couche d'Enkamat devra être ajoutée en dessous du substrat. Il est évident que cette modification peut influencer le taux de colmatage en retenant une partie des organismes éliminés par la brosse. Ce paramètre sera à surveiller. L'utilisation d'une embarcation moins bruyante et l'espacement des visites permettraient sans doute de limiter le phénomène d'effarouchement des poissons à l'approche des frayères.

Autres aménagements

Il serait également très intéressant de coupler l'utilisation de frayères avec celle d'autres aménagements possibles et de comparer leur efficacité. Certains de ces aménagements peuvent être mis en œuvre totalement ou partiellement dans des délais très brefs (saison prochaine) :

- Mise en œuvre d'îles flottantes (**Figure 10.1**);
- Récupération des œufs ;

- Clôture du ruisseau de la Taille à Truites et rétablissement de la connexion avec le lac de l'Eau d'Heure ;
- Mise en place de placettes expérimentales de végétation typique de zone de marnage à l'Eau d'Heure (**Figure 10.2**).

D'autres aménagements nécessitent de plus amples recherches, sont plus longues à mettre en œuvre (moyen terme), mais plus durables :

- Mise en place de barrages à clapet pour maintenir constant le niveau d'eau ;
- Mise en œuvre de passes à poissons entre le lac de l'Eau d'Heure et les trois pré-barrages.

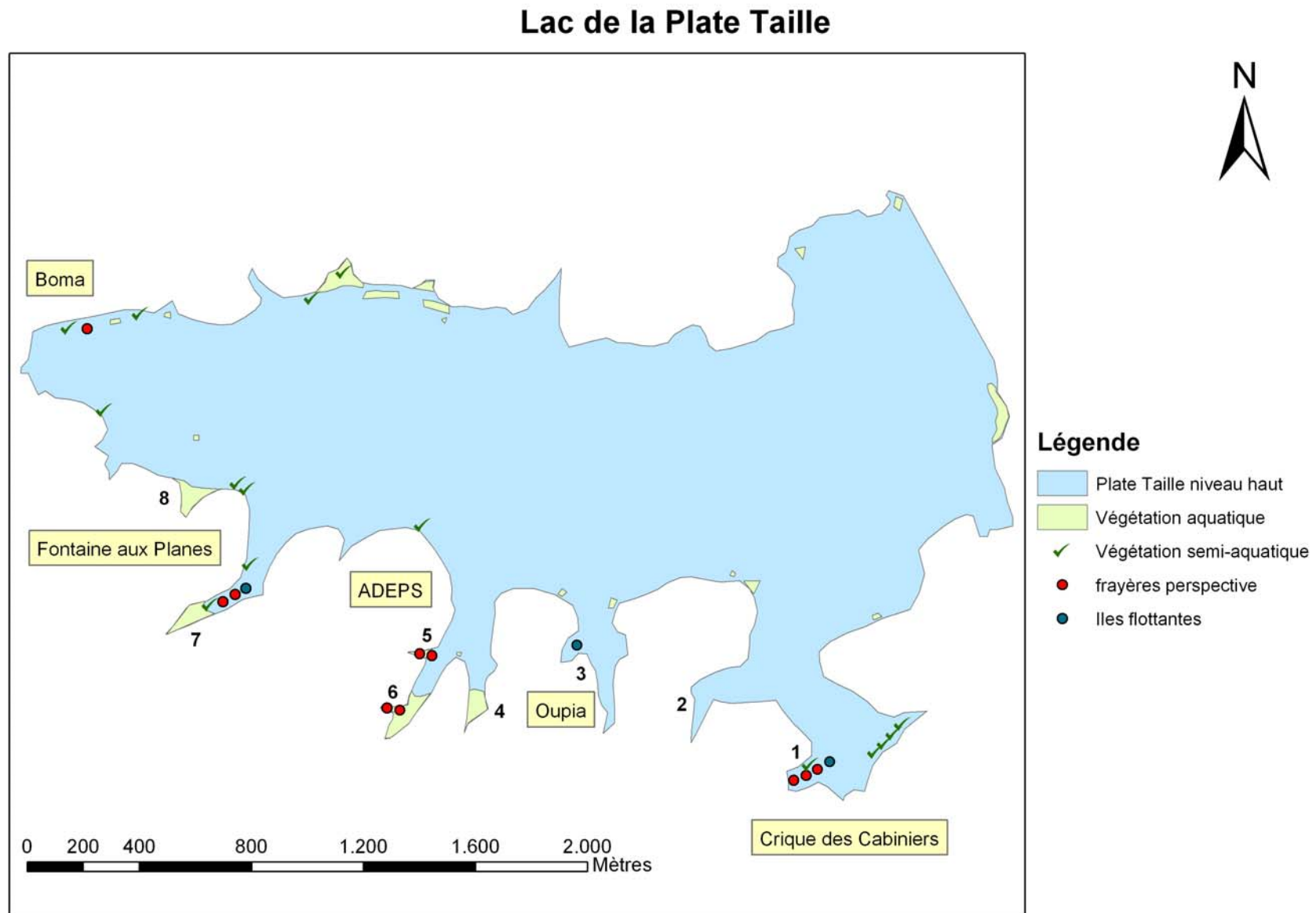


Figure 10.1. Proposition de plan d’implantation des frayères artificielles flottantes et des îles flottantes dans le lac de la Plate Taille.

Lac de l'Eau d'Heure

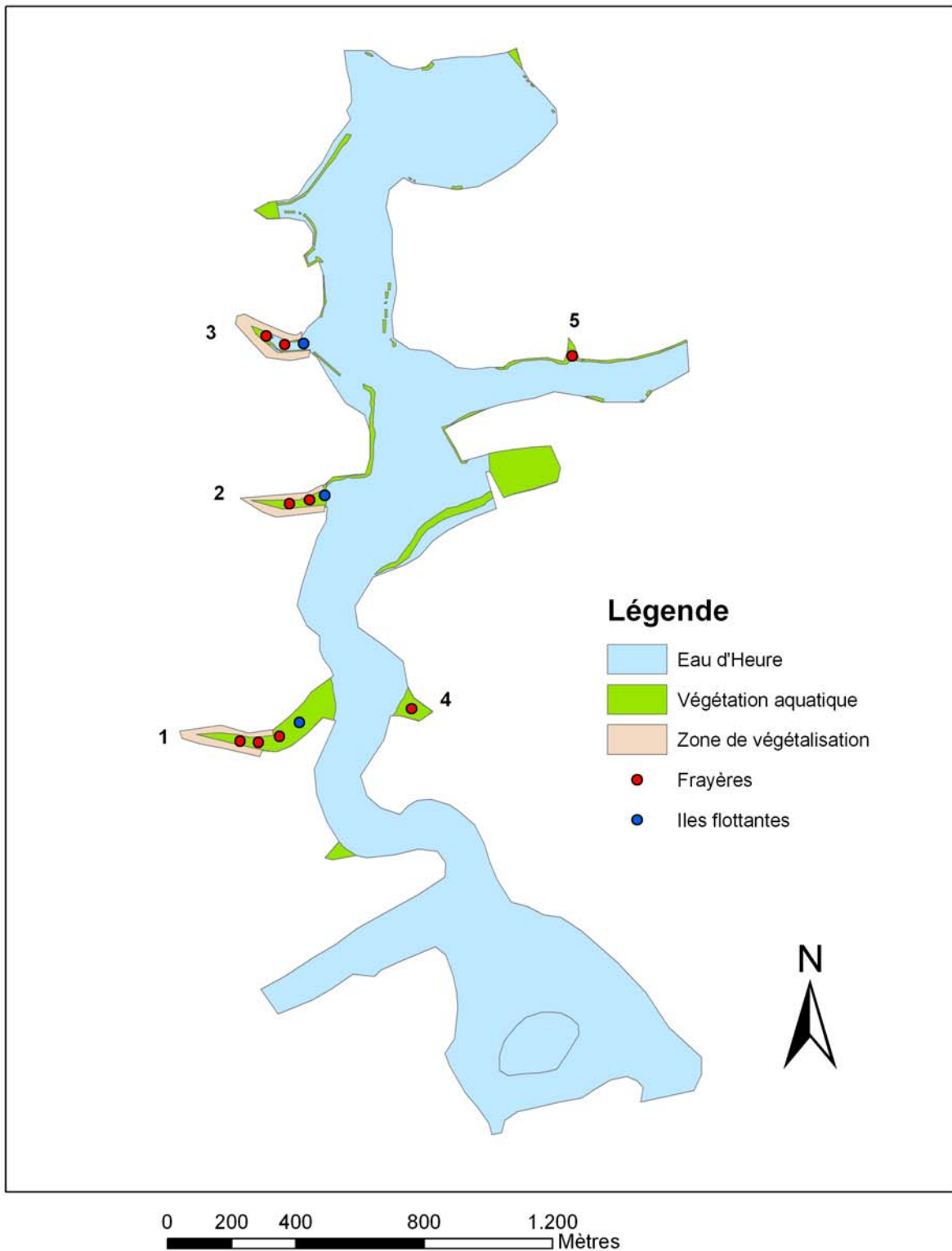


Figure 10.2. Proposition de plan d'implantation des frayères artificielles flottantes et des îles flottantes et localisation des zones propices à la mise en place de placette expérimentales de végétalisation.

11 Conclusions

Le marnage dû à l'exploitation hydroélectrique et au soutien d'étiage de la Sambre pose un réel problème à la reproduction des poissons phytophiles dans les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure.

La mise en place de frayères artificielles flottantes améliore la reproduction de ces espèces en leur assurant la présence d'un substrat de ponte immergé. Les résultats obtenus (plus de 9 millions d'œufs de gardons) apportent la preuve de l'efficacité de ce type de dispositif dans les lacs considérés. Le colmatage nécessite une attention particulière mais ne compromet pas leur utilisation sur les lacs de l'Eau d'Heure.

Toutefois, pour diminuer le nombre de visites d'entretien et les frais qu'elles occasionnent, il faut veiller à réduire au maximum la vitesse de ce colmatage. L'étude réalisée ici, a permis de mettre en évidence:

- le colmatage des frayères est un phénomène qui a lieu dans l'ensemble des lacs testés ;
- la Plate Taille est atteint à un degré moindre que les deux autres ;
- l'ensoleillement des stations semble être un facteur aggravant.

Sur la base de ces éléments, un nouveau schéma d'implantation des frayères est proposé.

Il est fort probable que d'autres espèces de poissons utiliseront les frayères lors des possibles campagnes futures. En effet, les niveaux d'eau exceptionnellement hauts en 2007 ont probablement permis aux poissons de trouver des substrats naturels en suffisance, ce qui a pu rendre moins attractives les frayères artificielles. Dans des circonstances moins favorables, ces substrats ne seront plus accessibles et les frayères artificielles deviendront cruciales pour assurer la reproduction des espèces phytophiles des lacs de l'Eau d'Heure.

12 Bibliographie

Adelman I. & Smith L., 1970. Effect of hydrogen sulfide on northern pike eggs and sac fry. *Transactions of the American Fisheries Society* 99, p 501-509

Alldrige N. & White A., 1980. Spawning site preference for northern pike in a New York marsh with widely fluctuating water levels. *Ohio Journal of Science* 80 (13), p 57-73

Anderson P., 1993. Adaptation of a habitat suitability model for prioritizing habitat rehabilitation needs of northern pike (*Esox lucius*). These, Trent University, Peterborough, Ontario

Arrignon J., 1972. Station expérimentale d'élevage du brochet du Vivier du Grès-Oise. *Bulletin Français de Pisciculture* 246

Arrignon, J., 1976 Aménagement écologique et piscicole des eaux douces. Paris, Ed. Gauthier-Villars, 320 p.

Arrignon J., 1998. Aménagement piscicole des eaux douces, 5^e édition, Lavoisier TEC & DOC, 589p

Bevelhimer M., 1996. Relative importance of temperature, food and physical structure to habitat choice by smallmouth bass in laboratory experiments. *Transactions of the American Fisheries Society* 125, p 274-283

Bodaly R. & Lysack L., 1984. Response of a boreal northern pike (*Esox lucius*) population to lake impoundment: Wupaw Bay, Southern Indian Lake, Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41, p706-714

Bohl E., 1980. Diel pattern of pelagic distribution and feeding in planktivorous fish. *Oecologia* 44, p 368-375

Bruslé J. & Quignard J-P, 2001. Biologie des poissons d'eau douce européens. Collection aquaculture-pisciculture. Lavoisier TEC & DOC, 625p

Bry C., 1996. Role of vegetation in the life cycle of pike. In Craig J. (ed) *Pike: Biology and Exploitation*. London: Chapman & Hall, p 45-67

Bry C., Bonamy F., Manelphe J., and Duranthon B., 1995. Early life characteristics of pike, *Esox lucius*, in rearing ponds: temporal survival pattern and ontogenic diet shifts. *Journal of Fish Biology* 46, p 99-113.

Bry C. & Souchon Y., 1982. Production of young northern pike families in small pounds : natural spawning versus fry stocking. *Transactions of the American Fisheries Society* 111, p 476-480

Carbine W., 1942. Observations on the life history of the northern pike in Houghton Lake, Michigan. *Transactions of the American Fisheries Society* 71, p 149-164

Casselman J.M., & Lewis C.A., 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53 (Suppl.1), p161-174.

Casselman J. & Harvey H., 1973. Fish traps of clear plastic. *Prog. Fish-Cult.* 35, p 218-220

Casselman J. & Harvey H., 1975. Selective fish mortality resulting from low winter oxygen. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnologia* 19, p 2418-2429

Cazin B., 1994. Expérimentation de frayères artificielles à base de fibres synthétiques et de frayères artificielles à base de branches d'épicéa. Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux aquatiques de la Loire, France, 11 p.

Chambers R. C. & Trippel E. A., 1997. Early Life History and Recruitment in Fish Populations. London. Chapman & Hall, 596p.

Chancerel F., 2003. Le brochet biologie et gestion. Collection Mise au Point. Conseil Supérieur de la Pêche, 199p

Chapman C. & Mackay W., 1984a. Direct observation of habitat utilization by northern pike. *Copeia* 1984(1), p 255-258

Chapman C. & Mackay W., 1984b. Versatility in habitat use by a top aquatic predator, *Esox lucius*. *Journal of Fish Biology* 25, p 109-115

Clark C., 1950. Observations on the spawning habits of the northern pike in northwestern Ohio. *Copeia* 1950 (4), p 285-288

Cook M. & Bergersen E., 1988. Movements, habitat selection, and activity periods of northern pike in Eleven Mile Reservoir, Colorado. *Transactions of the American Fisheries Society* 117, p 495-502

Copp G., 1990. Shifts in the microhabitat of larval and juvenile roach, *Rutilus rutilus* (L.), in a floodplain channel. *Journal of Fish Biology*, 36, p683-692.

Copp G., 1992. Comparative microhabitat use of cyprinid larvae and juveniles in a lotic floodplain channel. *Environmental Biology of Fishes*, 33, p181-193.

Copp G., 1993. Microhabitat use of fish larvae and 0+ juveniles in a small abandoned channel of the upper River Rhône, France. *Folia of Zoology* 42, p 153-164

Copp G.H., 1997. Microhabitat use of fish larvae and 0+ juveniles in a highly regulated section of the River Great Ouse. *Regulated Rivers: Research & Management*, 13, p267-276.

Cowx I. & Frear P., 2004. Assessment of year class strength in freshwater recreational fish populations. *Fisheries Management and Ecology* 11, p 117-123

Craig J., 1992. Pike : biology and exploitation. London: Chapman & Hall, 298p

Diamond M., 1985. Some observations of spawning by roachn *Rutilus rutilus* (L.) and bream, *Abramis brama* (L.), and their implications for management. *Aquaculture and Fisheries Management* 16, 359-367.

Diana J., Mackay W. & Ehrman M, 1977. Movements and habitat preference of northern pike (*Esox lucius*) in Lac Ste. Anne, Alberta. *Transactions of the American Fisheries Society* 106, p 560-565

Dupont E., 1998. Entretenir les cours d'eau et l'habitat des poissons. Centre de Recherche sur la Nature, la Forêt et le Bois (Gembloux). Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE). Ministère de la Région Wallonne. Publication de la Division de l'Eau, Direction des cours d'eau non navigables. Jambes, 136p

Everard M., 2006. The Complete Book of the Roach. Shropshire, England : The Medlar Press, 436p.

Eklov P. & Persson L., 1996. The response of prey to risk of predation : proximate cues for refuging juvenile fish. *Animal Behaviour* 51, p 105-115

Fabricius E., 1950. Heterogeneous stimulus summation in the release of spawning activities in fish. A. *Reports of the Institute of Freshwater Resources of Drottningholm* 31, p 222-236

Fago D., 1977. Northern pike production in managed spawning and rearing marshes. *Technical Bulletin of the Wisconsin Department of Natural Resources* 96, p 1-30

Farrell J., 1991. Spawning ecology of sympatric northern pike and muskellunge in the St Lawrence River. Thèse de la State University of New-York, 80p

Forney J., 1968. Production of young northern pike in a regulated marsh. *New York Fishing Game Journal* 34, p 1812-1820

Fortin R., Dumont P., Fournier H., Cadieux C. & Villeneuve D., 1982. Reproduction et force des classes d'âge du Grand Brochet dans le Haut-Richelieu et la baie Missisquoi. *Canadian Journal of Zoology* 60, p 227-240

Fraissé T, 1999. Protection et végétalisation des zones de marnage des plans d'eau, guide méthodologique. *Les études des agences de l'eau n°66*, 98p

Franklin D. & Smith L., 1963. Early life history of the northern pike with special references to the factors influencing the numerical strength of year classes. *Transactions of the American Fisheries Society* 92, p 91-110

Frost W. & Kipling C., 1967. A study of reproduction, early life, weight-length relationship and growth of pike, *Esox lucius* L., in Windemere. *Journal of Animal Ecology* 36, p 651-693

Fuhrman O., 1934a. Le brochet, sa nourriture et sa croissance. *Bulletin suisse de la Pêche et de la Pisciculture* 3, p 7-33

Fuhrman O., 1934b. Alevins de brochet monstrueux. *Bulletin suisse de la Pêche et de la Pisciculture* 7-8, p 6-123

Fuiman L., 1989. Vulnerability of Atlantic herring larvae to predation by yearling herring. *Marine Ecology Progress Series* 51, p 291-299

Fuiman L. & Higgs D., 1997. Ontogeny, growth and the recruitment process. *Early Life History and Recruitment in Fish Populations*. London. Chapman & Hall, p 225-245

Gaboury M. and Patalas J., 1984. Influence of water level drawdown on the fish populations of Cross Lake, Manitoba. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41, p118-125

Gallis F., 1993. Interactions between the pharyngeal jaw apparatus, feeding behaviour and ontogeny in the cichlid fish (*Haplochromis piceatus*): a study of morphological constraints in evolutionary ecology. *Journal of Experimental Zoology* 267, p 137-154

Georges D., 1964. Evolution morphologique et histologique des organes adhésifs du brochet (*Esox lucius* L.). *Travaux du Laboratoire d'Hydrobiologie et de Pisciculture de l'Université de Grenoble* 56, p 7-16

Gühr M., 1957. Zur entwicklung des hetches. *Revue suisse de Zoologie* 64, p 355-474

Gillet C., 1989a. Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres. *Hydroécologie Appliquée* 1/2, p 117-143

Gillet C., 1989b. Réalisation de frayères artificielles flottantes pour les poissons lacustres. *Hydroécologie Appliquée* 1/2, p145-193

Gillet C. & Dubois J.P., 1995. A survey of the spawning of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*) and roach (*Rutilus rutilus*), using artificial spawning substrates in lakes. *Hydrobiologia* 300/301, p409-415

Gillet C. and Quétin P., 2006. Effect of temperature changes on the reproductive cycle of roach in Lake Geneva from 1983 to 2001. *Journal of Fish Biology*, 69, p518-534.

Gravel Y. & Dubé J., 1980. Les conditions hydriques et le rôle de la végétation dans une frayère à grand brochets, *Esox lucius* Linné. *Que d'Eau* 13, p 229-230

Grimm M. & Backx J., 1990. The restoration of shallow eutrophic lakes, and the role of northern pike, aquatic vegetation and nutrient concentration. *Hydrobiologia* 200/201, p 557-566

Grimm M. & Klinge M., 1996. Pike and some aspects of its dependence on vegetation. In Craig J. (ed) *Pike: Biology and Exploitation*. London: Chapman & Hall, p 125-156

Groen & Schroeder, 1978. Effects of water level management on walleye and other coolwater fishes in Kansas reservoirs. American Fisheries Society Special Publications 11, p 278-283

Haberlehner E., 1988. Comparative analysis of feeding and schooling behaviour of cyprinidae *Alburnus alburnus* L., *Rutilus rutilus* L. and *Scardinius erythrophthalmus* L. in a backwater of the Danube near Vienna. *Int. Review of Hydrobiology* 73, p 537-546

Haertel S. & Eckmann R., 2002. Diel diet shift of roach and its implications for the estimation of daily rations. *Journal of Fish Biology* 60, p 876-892

Haertel S., Baade U. & Eckmann R., 2002. No general percid dominance at mesotrophic lake conditions : insights from the quantification of predator-prey interactions. *Limnologica* 32, p 1-13

Hartmann J., 1983. Two feeding strategies of young fishes. *Archives of Hydrobiology* 96, p 496-509

Hassler T.J., 1970. Environmental Influences on Early Development and Year-Class Strength of Northern Pike in Lakes Oahe and Sharpe, South Dakota. *Transactions of the American Fisheries Society*, 2, p369-375.

Herman D., 1993. Suivi du fonctionnement des frayères artificielles des lacs de Robertville et de Warfaaz. *Rapport à la Commission Provinciale Piscicole de Liège*, p6-40

Herzig A. & Winkler H, 1985. The influence of temperature on the embryonic development of cyprinids. *Osterreichs Fischerei* 38, p 182-196

Hokanson K., McCormick J. & Jones B., 1973. Temperature requirements for embryos and larvae of the northern pike, *Esox lucius* (Linnaeus). *Transactions of the American Fisheries Society* 102, p 89-100

Hölker F. & Breckling B., 2001. An individual-based Approach to Depict the Influence of the Feeding Strategy on the Population Structure of Roach (*Rutilus rutilus* L.). *Limnologica*, 31, p69-78.

Hölker F. & Mehner T., 2005. Simulation of trait and density mediated indirect effects induced by piscivorous predators. *Basic and Applied Ecology* 6, 283-300

Hölker F., Haertel S., Steiner S. & Menher T., 2002. Effects of piscivorous-mediated habitat use on growth, diet and zooplankton consumption of roach : an individual-based modelling approach. *Freshwater Biology* 47, p 2345-2358

Holland L. & Huston M., 1984. Relationship of young-of-the-year northern pike to aquatic vegetation types in backwaters of the upper Mississippi River. *North American Journal Fisheries Management* 4, p 514-522

Houde E., 1987. Fish early life dynamics and recruitment vulnerability. *American Fisheries Society Symposium Series* 2, p 17-29

Huet M., 1983. Traité de pisciculture, 3^e édition. Mundi-Prensa, 749p

Hunt B. & Carbine W., 1951. Food of young pike, *Esox lucius*, and associated fishes in Peterson's ditches, Houghton Lake, Michigan. *Transactions of the American Fisheries Society* 80, p 67-83

IGRETEC, 2004. Schéma directeur intégré pour la préservation de la qualité de l'eau et la valorisation écologique des lacs de l'Eau d'Heure dans le cadre du développement touristique et économique du site. Rapport final, 262p

Inskip P., 1982. Habitat suitability index models: northern pike. U.S. Fish Wildl. Serv. FWS/OBS-82/10.17.

Jacobsen L. & Berg S., 1998. Diel variation in habitat use by planktivores in field enclosure experiments: the effect of submerged macrophytes and predation. *Journal of Fish Biology*, 53, p1207-1219.

Jafri S., 1990. Gametogenesis in roach, *Rutilus rutilus*. *Pakistan Journal of Zoology* 22, p 361- 377

Jepsen N. & Berg S., 2002. The use of winter refuges by roach tagged with miniature radio transmitters. *Hydrobiologia*, 483, p167-173.

Johnson F., 1957. Northern pike year-class strength and spring water levels. *Transactions of the American Fisheries Society* 86, p 285-293

- Johnson T., Bennett A. & McLister J., 1996. Thermal dependence and acclimatation of fast start locomotion and its physiological basis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Physiological Zoology* 69, p 276-292
- Kennedy M., 1969. Irish pike investigations. 1. Spawning and early life history. *Irish Fisheries Investismment (A) (Freshwater)* 5, p 4-33
- Kozmin A., 1980. The biology of the pike, *Esox lucius*, from Lake Lacha. *Journal of Ichthyology* 20, p 44-48
- Krause J., Staaks G. and Mehner T., 1998. Habitat choice in shoals of roach as function of water temperature and feeding rate. *Journal of Fish Biology*, 53, p377-386.
- Kunii H., 1984. Seasonal growth and profile structure development of *Elodea nuttallii* in pond Ojaga-Ika-Japan. *Aquatic Botany* 19, p39-247
- Lappalainen J. and Tarkan A.S., 2007. Latitudinal gradients in onset date, onset temperature and duration of spawning roach. *Journal of Fish Biology*, 70, p441-450.
- Le Louarn H., 1984. Production du brochet : amélioration de la production naturelle et repeuplement. Le brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage. Billard R, Inra, Paris, p 305-318
- Leroy M.J., 1983. Les ballastières, gravières et sablières. *Bulletin de liaison du Conseil Supérieur de la Pêche* 30, p 19-37
- Lehtonen H. & Toivonen J., 1981. Freshwater fishes, in the Baltic Sea. Elsevier, Amsterdam, p 333-350
- Lewin W., Okun N. & Menher T., 2004. Determinants of the distribution of juvenile fish in the littoral area of a shallow lake. *Freshwater Biology* 49, p 410-424

Lightfoot G. & Jones N., 1996. The relationship between the size of 0+ roach, *Rutilus rutilus*, their swimming capabilities, and distribution in an English river. *Folia Zoologica* 45, p 355-360

Luchetta J.C., 1991. Reconstituer des frayères naturelles dans des rivières trop canalisées, offrir des frayères artificielles à des milieux stériles. *Conseil Supérieur de la Pêche, Eaux Libres* 5, p22-23

McCarragher D. & Thomas R., 1972. Ecological significance of vegetation to northern pike spawning. *Transactions of the American Fisheries Society* 101, p 560-563

Machniak K., 1975. The effects of hydro-electric development on the biology of northern fishes (reproduction and population dynamics). II Northern pike *Esox lucius* L., a review and bibliography. Fisheries and marine service, Technical report n°528, Canada

Makowecki R., 1973. The trophy pike, *Esox lucius* L, of Seibert Lake. Thèse de l'Université d'Alberta, Edmonton, 239p

Maitland P.S. & Campbell R.N., 1992. *Freshwater Fisheries*. London: Harper Collins, 218 p

Massé G., Dumont P, Ferraris J & Fortin R., 1991. Influence des régimes hydrologique et thermique de la rivière aux Pins (Québec) sur les migrations de fraie du Grand Brochet et sur l'avalaison des jeunes brochets de l'année. *Aquatic & Living Ressources* 4, p 275-287

Mingelier M., Brodeur P. & Morin, J., 2004. Impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs et des changements climatiques sur l'habitat des poissons du fleuve Saint-Laurent. *Vecteur Environnement*, vol.37(6), p34-43.

Nash K.T., Hendry K. & Cragg-Hine D., 1999. The use of brushwood bundles as fish spawning media. *Fisheries Management and Ecology* 6, p349-355

Nelson W., 1978. Implications of water management in Lake Oahe for the spawning success of coolwater fishes. *American Fisheries Society Special Publications* 11, p 154-158

- Nihouarn A., 1999. Le plan départemental pour la protection du milieu aquatique et la gestion des ressources piscicoles (PDGP). *Groupe de travail PDGP, octobre, p20*
- Nilson P. & Bronmark C, 2000. Prey vulnerability to a gape-size limited predator: behavioural and morphological impacts on northern pike piscivory. *Oikos* 88, p 539-546
- Nõges P. & Järvet A., 2005. Climate driven changes in spawning of roach (*Rutilus rutilus* L.) and bream (*Abramis brama* L.) in the Estonian part of the Narva River basin. *Boreal Environment Research* 10, p 45-55
- Ohlmer W. & Schwartzkopf J., 1959. Schwimmgeschwindigkeiten von Fischen aus stehenden Binnengewässern. *Naturwissenschaften* 46, p 362-363
- Okun N. & Mehner T., 2005. Distribution and feeding of juvenile fish on invertebrates in littoral reed (*Phragmites*) stands. *Ecology of Freshwater Fish*, 14, p139-149.
- Persson L., 1983. Food consumption and the significance of detritus and algae to intraspecific competition in roach *Rutilus rutilus* in a shallow eutrophic lake. *Oikos* 41, p 118-125
- Persson L., Diehl S., Johansson L., Andersson G. & Hamrin S., 1991. Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperate lakes – patterns and the importance of size-structured interactions. *Journal of Fish Biology* 38, p 281–293
- Poncin P., 1996. La reproduction chez nos poissons. Fédération Sportive des Pêcheurs Francophones de Belgique ASBL, 80p
- Priegel G. & Krohn D., 1975. Characteristics of a northern pike spawning population. *Technical Bulletin of the Wisconsin Department of Natural Resources* 86, p 1-18
- Randall R., Minns C., Cairns V. & Moore J., 1996. The relationship between an index of fish production and submerged macrophytes and other habitat features at three littoral areas in the Great Lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53

Reznitchenko P., 1971. Problèmes des conditions thermiques optima de développement et de viabilité des œufs de tanche, de brochet et d'esturgeon. *Comptes-rendus de la Société des naturalistes de Moscou. Zoologie Botanique. 2^e semestre 1968-1969. Université de Moscou, p53-56*

Reznitchenko P., 1976. Règles générales de l'influence du facteur thermique sur l'embryogénèse des poissons. Compte-rendu de la 2^e conférence de Kiev. 1^{re} partie. Physiologie et Ecologie des poissons. Académie Scientifique d'Ukraine, Nankoua

Rosas L. & Odum W., 1988. Occupation of submerged aquatic vegetation by fishes: testing the roles of food and refuge. *Oecologia 77, p 101-106*

Royer L., 1971. Comparative production of pike fingerlings from adult spawners and from fry planted in controlled spawning marsh. *The Progressive Fish-Culturist 33, p 153-155*

Schlumberger O., 2002. Mémento de pisciculture d'étang. Paris. Cemagref Editions, 238p.

Schlumberger O. & Gouy S., 1998. Valorisation des étangs de Dordogne. *Rapport CEMAGREF, p 27*

Schmitt R. & Holbrook S., 1984. Ontogeny of prey selection by black surfperch (*Embiotoca jacksoni*): the roles of fish morphology, foraging behaviour and patch selection. *Marine Ecology Progress Series 18, 225-239*

Schulze T; & al., 2006. Determinants of habitat use in large roach. *Journal of Fish Biology, 69, p1136-1150.*

Schroder T., 1979. Aspekte der ökologie von Fruhentwicklungsstadien einiger fischarten in alterhein und labor. Thèse de la Goethe University, Frankfurt, 100p

Souchon Y., 1984. La reproduction du brochet (*Esox lucius* L.) dans le milieu naturel. Le brochet : gestion dans le milieu naturel et élevage. Billard R, Inra, Paris, p 21-37

Staaks G., 1996. Experimental studies on temperature preference behaviour of juvenile cyprinids. *Limnologica* 26, p 165-177

Stoner A. & Livingston R., 1984. Ontogenic patterns in diet and feeding morphology in sympatric sparid fishes from seagrass meadows. *Copeia* 1984, p 174-187

Wainwright P., 1987. Biomechanical limits to ecological performance: mollusc-crushing by the Caribbean hogfish (*Lachnolaimus maximus*). *Journal of Zoology* 213, p 283-297

Webb P., 1978. Temperature effects on acceleration in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 35, p 1417-1422

Werner E, Hall D., Laughlin D., Wagner D. & Wilsmann L., 1983. An experimental test of the effects of predation risk on habitat use in fish. *Ecology* 64, p 1540-1548

Wildhaber M. & Crowder L., 1990. Testing a bioenergetics-based habitat choice model: bluegill (*Lepomis macrochirus*) response to food availability and temperature. *Canadian Journal of Fisheries and aquatic Sciences* 46, p 1664-1671

Wilkonska H. & Zuromska H., 1967. Observations of the spawning of pike and roach in Mazury lake district. *Roczniki Nauk Polniczych* H90, p 477-502

Wootton P., 1990. Ecology of Teleost Fishes. Chapman and Hall, Londres, p 404

Worthington A., Macfarlane N. & Easton K., 1982. Controlled reproduction in the roach (*Rutilus rutilus* L.). Reproductive Physiology of Fish. Editions Richter C. & Goos H., p 220-223

Annexe A

Composition de l'échantillon prélevé le 14/06/2007 dans le ruisseau de la Taille à Truites.

Embranchements	Taxons	Nombre d'individus
Plathelminthes		
	Planariidae	>10
	Dugesiiidae	>10
Annélides		
	Tubificidae	3
Mollusques		
	Lymnaeidae	5
Arthropodes		
	Gammaridae	>10
	Limnephilidae	3
	Sercostomatidae	2
	Glossosomatidae	1
	Philopotamidae	1
	Simuliidae	>10
	Athericidae	2
	Baetidae	5
	Helodidae	4
	Tipulidae	1
	Calopterygidae	1

ANNEXE B

Dépliant relatif aux frayères artificielles flottantes à destination du grand public et des pêcheurs