



Service public de Wallonie



Projet d'optimisation de l'efficacité des frayères
artificielles flottantes et mise en place d'actions
complémentaires visant à assurer le recrutement des
poissons phytophiles dans les lacs de l'Eau d'Heure



Thomas Tomson

Elodie Calonnier

Frédéric Dumonceau

Rapport final

Juin 2010

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier chaleureusement toutes les personnes et les organismes qui ont rendu possible ce projet et qui nous ont aidés à le mener à bien :

- La Direction des Cours d'eau non navigables qui a permis la concrétisation de ce projet et, plus particulièrement, Messieurs ORBAN et DESTEUCCQ pour leur implication.
- Monsieur PESTIAUX de la Direction générale opérationnelle Mobilité et Voies hydrauliques pour les informations communiquées à propos de la gestion hydraulique des Lacs de l'Eau d'Heure.
- L'Association pour la Défense et la Promotion de la Pêche dans les Lacs de l'Eau d'Heure asbl et, notamment, Monsieur WINDAL pour son aide physique et logistique dans le montage/démontage des frayères artificielles flottantes et la mise en place des radeaux végétalisés.
- L'asbl des Lacs de l'Eau d'Heure pour sa collaboration.
- L'ensemble des membres du comité d'accompagnement pour le temps qu'ils ont accordé à ce projet.
- Les Fédérations halieutiques pour leur aide précieuse.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	2
TABLE DES MATIERES.....	3
1 INTRODUCTION.....	6
2 LE COMPLEXE DES BARRAGES DE L'EAU D'HEURE.....	8
2.1 LOCALISATION.....	8
2.2 HISTORIQUE (MET, 1997).....	9
2.3 GESTION HYDROLOGIQUE (MET, 2007).....	10
2.3.1 <i>Introduction</i>	10
2.3.2 <i>La centrale hydroélectrique</i>	13
3 IMPACT DU MARNAGE SUR LES ECOSYSTEMES AQUATIQUES.....	15
3.1 INTRODUCTION.....	15
3.2 IMPACTS SUR LES MACRO-INVERTEBRES.....	16
3.3 EFFET DU MARNAGE SUR LA VEGETATION AQUATIQUE.....	17
3.3.1 <i>Rôles de la végétation sans les écosystèmes aquatiques</i>	17
3.3.2 <i>Effets du marnage</i>	20
3.4 EFFET DU MARNAGE SUR LA POPULATION PISCICOLE.....	21
4 BIOLOGIE DE QUATRE ESPECES PHYTOPHILES.....	25
4.1 CARACTERISTIQUES DES HABITATS ET BESOINS BIOLOGIQUES POUR LA REPRODUCTION ET LES PREMIERS STADES DE VIE DU BROCHET (ESOX LUCIUS L.) (NEMRY ET AL., 2007).....	25
4.1.1 <i>Reproduction du brochet</i>	25
4.1.2 <i>Ecllosion et développement</i>	30
4.1.3 <i>Caractéristiques de l'habitat des larves</i>	31
4.1.4 <i>Caractéristique de l'habitat des juvéniles et des adultes</i>	32
4.1.5 <i>Végétation et cycle de vie du brochet</i>	33
4.2 CARACTERISTIQUES DES HABITATS ET BESOINS BIOLOGIQUES POUR LA REPRODUCTION ET LES PREMIERS STADES DE VIE DU GARDON (RUTILUS RUTILUS L.) (NEMRY ET AL., 2007).....	39
4.2.1 <i>Reproduction du gardon</i>	39
4.2.2 <i>Le frai</i>	39
4.2.3 <i>Les frayères</i>	40
4.2.4 <i>L'œuf et son développement</i>	41
4.2.5 <i>Les larves : besoins et développement</i>	42
4.2.6 <i>Caractéristiques de l'habitat des adultes</i>	45
4.3 CARACTERISTIQUES DES HABITATS ET BESOINS BIOLOGIQUES POUR LA REPRODUCTION ET LES PREMIERS STADES DE VIE DE LA PERCHE (PERCA FLUVIATILIS L.).....	47
4.3.1 <i>Taxonomie et description</i>	47
4.3.2 <i>Reproduction de la perche</i>	47
4.3.3 <i>L'œuf et son développement</i>	49
4.3.4 <i>Vie des individus adultes</i>	50
4.4 CARACTERISTIQUES DES HABITATS ET BESOINS BIOLOGIQUES POUR LA REPRODUCTION ET LES PREMIERS STADES DE VIE DE LA BREME COMMUNE (ABRAMIS BRAMA L.).....	52

4.4.1	<i>Maturité sexuelle de la brème commune</i>	52
4.4.2	<i>Reproduction de la brème commune</i>	52
4.4.3	<i>Eclosion et développement</i>	54
4.4.4	<i>Caractéristiques de l'habitat des adultes</i>	56
5	UTILISATION DE STRUCTURES ARTIFICIELLES POUR FAVORISER LA PONTE DES POISSONS	
	PHYTOPHILES	58
5.1	LES DIFFERENTS TYPES DE STRUCTURES	58
5.1.1	<i>Frayères fixes</i>	58
5.1.2	<i>Frayères flottantes</i>	59
5.2	LES SUBSTRATS	60
5.2.1	<i>Nature et structure</i>	60
5.2.2	<i>Utilisation</i>	62
6	MISE EN PLACE ET SUIVI DES FRAYERES ARTIFICIELLES SUR LES LACS DE LA PLATTE TAILLE ET DE L'EAU D'HEURE	64
6.1	RAPPEL DES OBJECTIFS	64
6.2	FRAYERES ARTIFICIELLES FLOTTANTES.....	65
6.2.1	<i>Choix du matériel</i>	65
6.2.2	<i>Choix des emplacements</i>	66
6.3	RADEAUX VEGETALISES	67
6.3.1	<i>Montage et installation</i>	67
6.3.2	<i>Espèces végétales utilisées</i>	69
6.4	SUIVI	69
6.4.1	<i>Actions menées sur le lac</i>	69
6.5	RESULTATS	70
6.5.1	<i>Journal des sorties</i>	70
6.5.2	<i>Observations des pontes</i>	74
6.6	MISE EN PLACE DES RADEAUX VEGETALISES.....	79
6.7	ANALYSE DE L'EAU	79
6.7.1	<i>Température</i>	79
6.7.2	<i>Oxygène</i>	81
6.7.3	<i>pH</i>	82
6.7.4	<i>Turbidité</i>	83
6.7.5	<i>Composés azotés et phosphate</i>	84
6.7.6	<i>Colmatage</i>	87
6.7.7	<i>Conclusions</i>	87
7	ANALYSE DE LA VEGETATION SPONTANEE DES BERGES DU LAC DE LA PLATTE TAILLE	88
7.1	VEGETALISATION : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	88
7.1.1	<i>Principaux avantages et contraintes de la végétalisation</i>	88
7.1.2	<i>Le choix des espèces : la végétation spontanée des zones de marnage</i>	89
7.1.3	<i>Les techniques végétales potentiellement adaptées au site d'étude</i>	92
7.1.4	<i>Exemples de végétalisation de zones de marnage</i>	94
7.2	ANALYSE DE LA VEGETATION SPONTANEE DES BERGES DU LAC DE LA PLATTE TAILLE	95
7.2.1	<i>Principaux types d'habitats du lac de la Platte Taille (Duvigneaud & Havrenne, 1985 – Saintenoy-Simon, 1994 – Duvigneaud & Saintenoy-Simon, 1995)</i>	95

7.2.2	<i>Caractérisation des berges du lac de la Platte Taille</i>	97
7.2.3	<i>Aperçu de la végétation spontanée du lac de la Platte Taille (Duvigneaud & Havrenne, 1985 – Saintenoy-Simon, 1994 – Duvigneaud & Saintenoy-Simon, 1995)</i>	99
7.2.4	<i>Liste des espèces végétales inventoriées sur le lac de la Platte Taille</i>	106
7.3	INVENTAIRE FLORISTIQUE	109
7.3.1	<i>Protocole de l'inventaire</i>	109
7.3.2	<i>Résultats</i>	109
7.3.3	<i>Description des différents milieux</i>	110
7.3.4	<i>Zonation végétale</i>	114
8	PERSPECTIVES.....	117
9	CONCLUSIONS	121
10	BIBLIOGRAPHIE.....	122
11	ANNEXES	138

1 INTRODUCTION

Le complexe des Lacs de l'Eau d'Heure a vu le jour à la fin des années 70 dans le but, notamment, de soutenir le débit d'étiage de la Sambre et du canal Charleroi – Bruxelles et l'approvisionnement en eau de la Meuse après son chômage. Des centrales ont été installées afin de profiter de la différence de niveau entre le lac de la Plate Taille et le lac de l'Eau d'Heure et d'assurer l'approvisionnement du réseau électrique lors des pics de consommation. La gestion hydraulique des lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure induit une variation quotidienne et saisonnière importante du niveau de l'eau qui n'est pas sans conséquence sur les écosystèmes et particulièrement sur ses habitants dont l'ichtyofaune. En effet, le marnage empêche l'installation pérenne de la végétation aquatique rivulaire et donc de zones potentiellement utilisables par les espèces phytophiles (déposant leurs œufs sur des végétaux immergés) pendant les périodes de reproduction. De plus, lorsque des pontes surviennent, les fluctuations du niveau d'eau découvrent la frange supérieure des herbiers et entraînent la mise à sec et donc la mort des œufs qui y ont été déposés. Il en résulte un recrutement naturel particulièrement délicat chez ces espèces, ce qui provoque un déséquilibre des populations piscicoles présentes aux Barrages de l'Eau d'Heure.

Suite à ce constat, une convention a été passée en 2007 entre Les Lacs de l'Eau d'Heure asbl et le Ministère de la Région Wallonne (Division de l'Eau), 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. L'objectif principal de cette convention était d'améliorer la reproduction des poissons phytophiles des lacs de l'Eau d'Heure et de la Plate Taille. Des frayères artificielles flottantes furent dès lors installées en divers endroits soigneusement sélectionnés et de nombreuses pontes de gardons furent observées sur ces structures. Bien que moins ambitieuse du fait de la non reconduction de la convention, l'expérience fut renouvelée en 2008 et montra une nouvelle fois son efficacité par l'observation de nombreuses pontes de brochets.

Ces succès encourageant et soulignant le bien fondé de la démarche ont mené à la poursuite du projet. Le présent rapport fait état des observations et des résultats obtenus au cours de l'année 2009. Celui-ci débutera par un bref rappel du contexte dans lequel le travail a été réalisé (*chapitres 2 & 3*). Une recherche bibliographique sur la perche et la brème

commune dont des pontes ont été observées durant le suivi des frayères viennent compléter l'étude bibliographique menée par Adrien NEMRY (Nemry, 2007). En parallèle aux activités de suivi scientifique des frayères artificielles flottantes du lac de la Plate Taille (*chapitres 5 & 6*), la mise en place de radeaux végétalisés a donné une nouvelle dimension au projet. Après l'amélioration de la reproduction des poissons, ce sont à présent les larves et les juvéniles de ces espèces qui sont pris en compte par la mise en place de milieux de vie propices à leur développement. De plus, un inventaire de la végétation rivulaire aquatique et semi-aquatique a été réalisé dans le but de déterminer les potentialités en terme de végétalisation des berges du lac de la Plate Taille dans le but de favoriser le développement de façon naturelle des substrats de ponte et des zones de refuge pour les espèces de poissons phytophiles (*chapitre 7*).

2 LE COMPLEXE DES BARRAGES 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, et couvre une superficie totale de 1.770 ha, dont 620 ha de plans d'eau, pour une longueur de berges de près de 50 km (**Tableau 1**). La rivière de l'Eau d'Heure s'écoule de Cerfontaine à Marchienne où elle se jette dans la Sambre. Elle a donné son nom au complexe qui comprend deux barrages principaux et trois pré-barrages. Ces cinq ouvrages ont donné naissance à cinq lacs (Plate Taille, Eau d'Heure, Falemprise, Ry Jaune et Féronval), soit le plus grand ensemble lacustre de Belgique (**Figure 1**). Le site appartient en totalité à la Région wallonne, qui en assure la gestion via une asbl où sont aussi représentées les provinces de Namur et de Hainaut, les communes de Cerfontaine et de Froidchapelle, ainsi que le Service public de Wallonie, responsable des installations techniques.

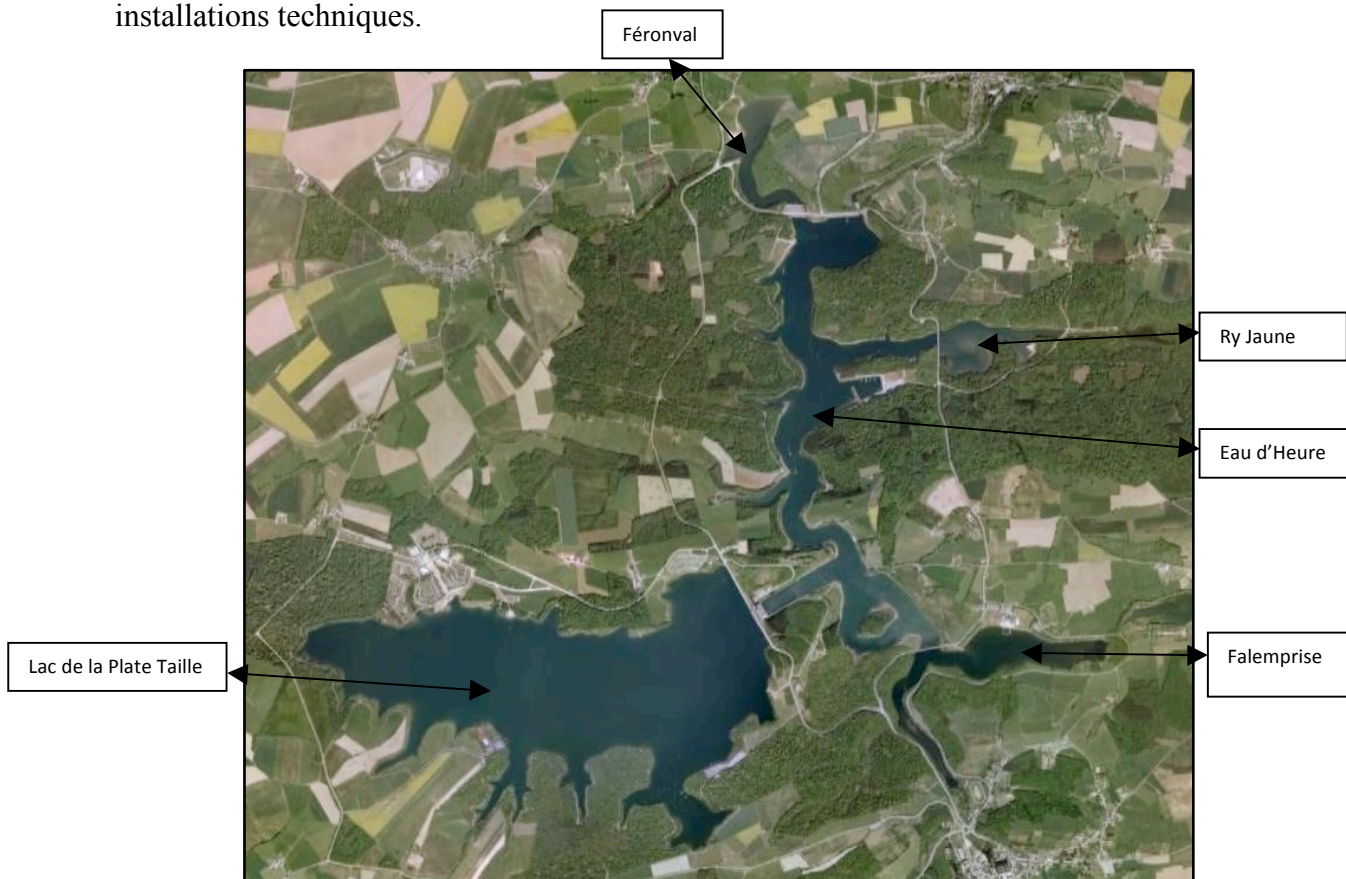


Figure 1 : Localisation des lacs et pré-barrages du complexe de l'Eau d'Heure (source: Google Earth, 2009)

Tableau 1 : Caractéristiques des différents lacs et pré-barrages du complexe de l'Eau d'Heure

Caractéristiques	Plate Taille	Eau d'Heure	Falemprise	Ry Jaune	Féronval	Total
Superficie	351 ha	165 ha	47,3 ha	31,5 ha	21,1ha	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 hm³
Longueur des berges	16,86 km	19,98 km	5,78 km	3,02 km	3,62 km	49,26 km
Alimentation	Par pompage	naturelle	naturelle	naturelle	naturelle	

2.2 Historique (MET, 1997)

Les premières prospections en vue d'ériger des barrages dans le bassin hydrographique de la Sambre datent de 1960, motivées par le souci de maintenir en Sambre un débit minimum admissible après la modernisation du canal Charleroi - Bruxelles. En effet, sa modernisation se serait nécessairement traduite par un accroissement de sa consommation en eau, dû surtout à l'augmentation de la capacité des écluses. L'eau d'alimentation du canal est amenée par pompage à partir de la Sambre

Or, en période d'étiage, le débit de la Sambre tombe parfois en dessous de 1 m³/s. Un débit aussi faible en zone fortement urbanisée entraîne une augmentation de la température de l'eau et une telle altération de ses propriétés physico-chimiques que même son usage industriel en est compromis.

Il s'imposait donc de compenser les prélèvements supplémentaires prévus, et mieux encore, de renforcer le débit d'étiage de la Sambre à Charleroi afin de combattre l'accroissement de température de la rivière et de favoriser le pouvoir autoépurateur par un apport en eau fraîche aussi important que possible.

Les sites propres à emmagasiner les réserves d'eau de surface à cet effet devaient nécessairement être recherchés sur les affluents de la Sambre, en amont de Charleroi.

Des sites étudiés en rive droite de la Sambre, c'est la vallée de l'Eau d'heure qui présentait les meilleures conditions pour l'érection d'un barrage. D'après les études hydrologiques, un réservoir d'au moins 25 millions de m³ aurait permis de réaliser les objectifs assignés. Néanmoins, une réserve utile de 48,75 millions de m³ était nécessaire pour assurer la couverture des besoins en cas de succession d'années sèches. Afin d'éviter l'expropriation et

la mise sous eau d'une partie du village de Cerfontaine, la retenue du barrage de l'Eau d'Heure a dû être limitée à 17 millions de m³. Le complément a été trouvé à côté de Boussu-lez-Walcourt, dans la vallée latérale du ruisseau de la Plate Taille, dont les caractéristiques géomorphologiques sont compatibles avec l'aménagement d'une retenue d'eau. Le bassin hydrographique ne permettant pas une alimentation naturelle suffisante du réservoir de la Plate Taille, le remplissage par pompage à partir du réservoir de l'Eau d'Heure s'est imposé, conduisant dès lors à la réalisation d'un lac inférieur et d'un lac supérieur. Ce sont ainsi deux grands barrages, l'un sur l'Eau d'Heure à Silenrieux (Cerfontaine), l'autre sur la Plate Taille à Boussu-lez-Walcourt (Froidchappelle), qui ont été réalisés. Ils sont capables de retenir un volume total de 85,7 millions de m³ dont 48,75 pour assurer le soutien d'étiage de la Sambre. Les travaux commencèrent à l'automne 1972 et se terminèrent dans le courant de l'année 1978. Le remplissage des lacs a commencé en mars 1977, avec la fermeture des vannes de vidange du barrage de l'Eau d'Heure pour se terminer en février 1980. Depuis ce jour, les barrages sont opérationnels et, outre les missions principales de soutien des débits d'étiage de la Sambre et de la Meuse, offrent également une fonction récréative et touristique ; de nombreuses activités comme les sports nautiques, la plongée, la baignade et la pêche y sont pratiquées.

La fonction première du site est donc de :

- Soutenir le débit d'étiage de la Sambre, dans le souci de maintenir un minimum de 5m³/s à Charleroi à l'entrée de son bassin industriel et urbain;
- Soutenir indirectement le débit d'étiage de la Meuse ;
- Sauvegarder l'alimentation du canal de Charleroi à Bruxelles.

2.3 Gestion hydrologique (MET, 2007)

2.3.1 Introduction

Depuis 1983, un schéma de gestion intégrée des réserves de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure est appliqué. La méthode adoptée pour déterminer cette gestion a consisté à simuler le fonctionnement du système pendant la période de 1969 à 1980, tout en y intégrant les mesures hydrologiques et météorologiques les plus récentes possibles.

Une courbe des capacités utiles, établie pour chaque année de cette période, a permis de cerner les volumes disponibles pour soutenir le débit d'étiage de la Sambre. La courbe-

enveloppe résulte de la superposition des courbes de capacité et définit, tout au long de l'année, le volume d'eau à retenir pour remplir les missions assignées au complexe.

La courbe donnant la variation de la capacité totale des deux lacs, en fonction de l'époque de l'année, a été obtenue à partir de la courbe-enveloppe où le zéro de la capacité utile est assimilé à la capacité totale minimum des deux lacs, soit 29,7 hm³. Le maximum de la courbe est limité à celui de leur capacité totale, soit 78,45 hm³ (avril à juillet) compatible avec le fonctionnement normal de la centrale hydroélectrique – c'est-à-dire déduction faite des 6,5 hm³ réservés à cet usage. Les gestionnaires tentent donc de suivre une ligne de conduite de type sinusoïdale qui prévoit un niveau maximum au printemps, une diminution en été et en automne et une augmentation en hiver (Figure 2). En outre, tous les trois ans, la Meuse est mise en chômage technique pour assurer les réparations et entretiens nécessaires. Le lâcher 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.

BARRAGES DE L'EAU D'HEURE - CAPACITES TOTALES - ANNEES 1981 A 2010

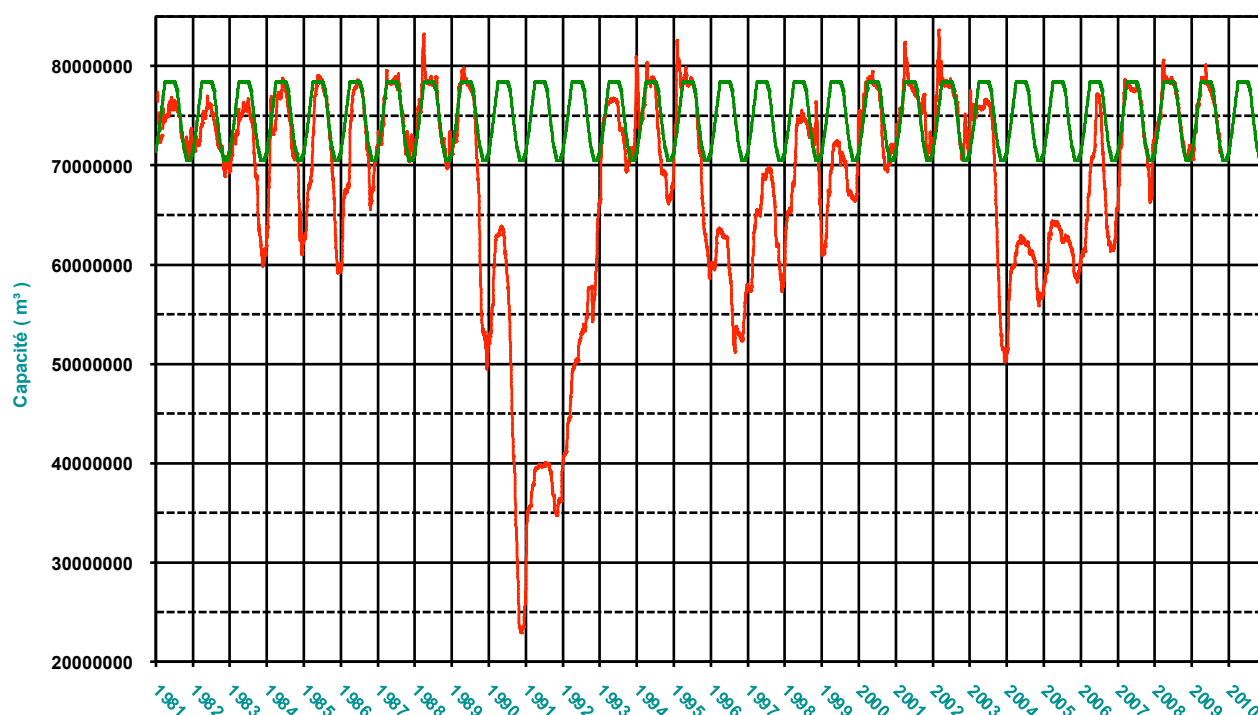


Figure 2 : Capacités totales des barrages de l'Eau d'Heure planifiées (en vert) et effective (en rouge) pour la période de 1981 et 2010 (sources : Ministère de l'Équipement et des Transports).

La courbe verte de la figure 2 représente la ligne de conduite fixée par les gestionnaires tandis que la courbe rouge représente les variations réelles de la capacité entre 1981 et 2009. 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 sur plusieurs années avant la récupération de la ligne de gestion théorique. Ces périodes de crises ont probablement été induites par un manque de précipitations comme semble l'indiquer les relevés de pluviométrie assez faibles pour les années citées. En effet, les années 1989 et 1990, par exemple, ont été les plus chaudes du 20^{ème} siècle en Belgique avec des précipitations très faibles par rapport à la moyenne. Ainsi, les mois de mai 1989 et 1990 n'ont connu que quatre et cinq jours de pluie, bien en deçà des normales (16 jours). De plus, le mois de juillet 1989 a été le plus sec du siècle avec seulement cinq jours de précipitations (IRM, 2009). Des lâchers d'eau importants ont ainsi été réalisés afin de compenser le faible niveau de la Sambre. Cette situation est représentée à la figure 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'écarter les crues et protéger les habitations situées en aval des lacs.

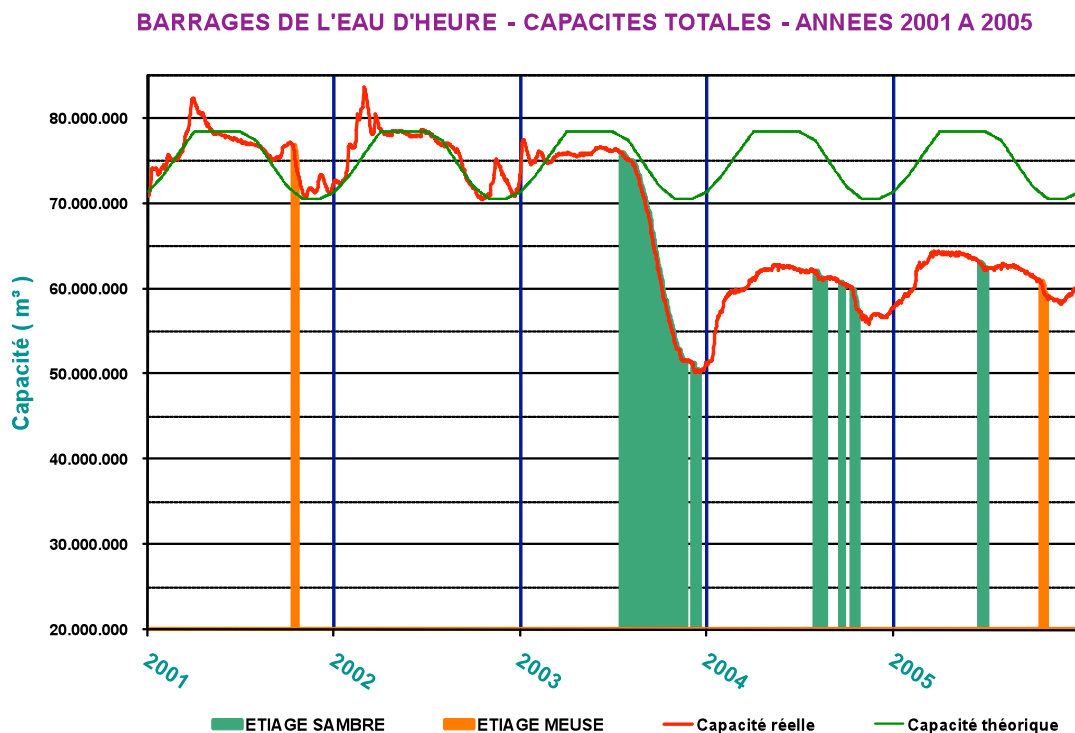


Figure 3 : Capacités totales des barrages de l'Eau d'Heure planifiées (en vert) et effectives (en rouge) pour la période de 2001 à 2005 (sources : Ministère de l'Équipement et des Transports).

2.3.2 *La centrale hydroélectrique*

Dans les réseaux de distribution d'électricité, la consommation varie fortement au cours de la journée : les creux de consommation alternent avec les pics, et les centrales électriques doivent continuellement s'adapter à la demande.

Les grosses unités de production modernes, qu'elles soient de type thermique classique ou nucléaire, ne permettent pas un réglage rapide et économique de la puissance instantanée. Il est donc nécessaire de réaliser des installations spéciales pour remplir cette tâche.

Les centrales de pompage-turbinage, qui fonctionnent comme accumulateurs d'énergie, répondent à cet objectif, en raison de leur facilité à monter rapidement en puissance.

Elles comprennent essentiellement deux réservoirs situés à des niveaux différents. Pendant les pics de consommation, l'énergie est produite en turbinant l'eau du réservoir supérieur vers le réservoir inférieur, tandis que, pendant les heures creuses, principalement la nuit, la réserve d'énergie est reconstituée en repompant l'eau turbinée pendant le jour.

Comme la constitution de la réserve d'eau du lac de la Plate Taille devait être réalisée par pompage à partir du lac de l'Eau d'Heure, l'idée est née de substituer à la simple station de pompage, une centrale d'accumulation d'énergie utilisant les bassins supérieur et inférieur ainsi créés.

En période de reconstitution des réserves, le volume pompé journalièrement excède le volume turbiné. En période de soutien d'étiage (basses eaux), l'inverse se produit. Il en résulte des variations des plans d'eau de fréquences saisonnière et journalière. La variation journalière moyenne de la hauteur d'eau sur les deux lacs est représentée à la figure 4. La tendance des courbes met bien en évidence la suite des pompages-turbinages.

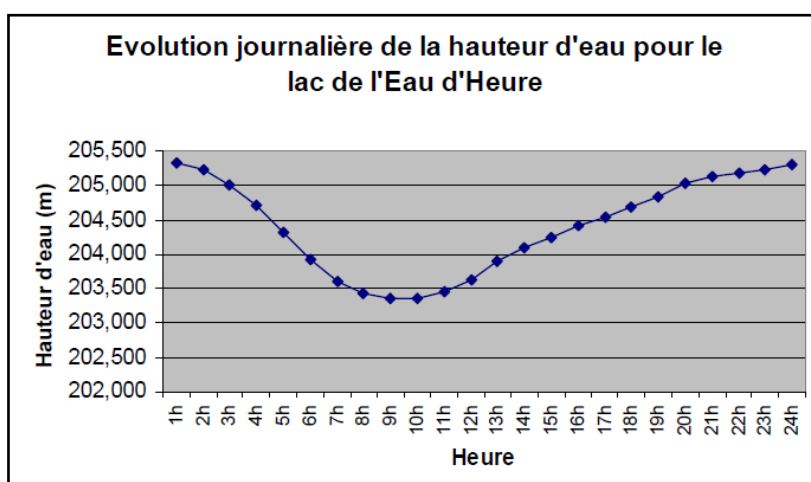
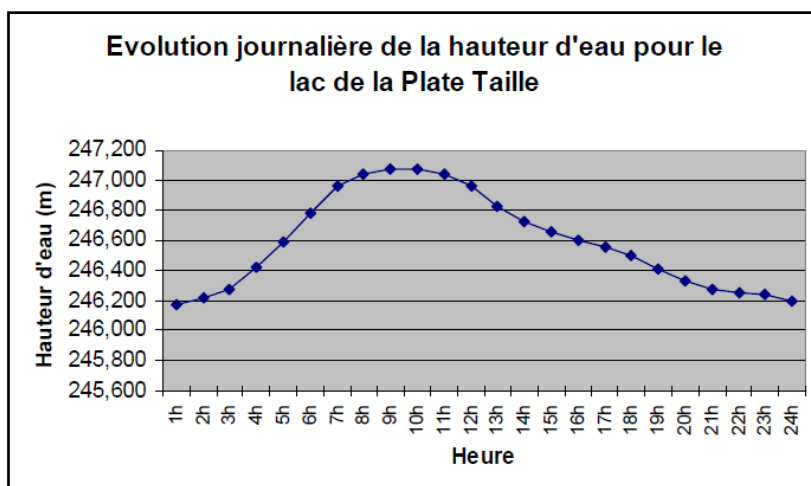


Figure 4 : Evolution journalière moyenne de la hauteur d'eau en 2006 pour les lacs de la Plate Taille et de l'Eau d'Heure (source: Ministère de l'Équipement et des Transports)

Pour limiter les effets de variation de niveau, trois prébarrages ont été prévus sur les antennes du lac inférieur, à Silenrieux, Cerfontaine et Boussu-lez-Walcourt. La gestion intégrée des mouvements d'eau est assurée en tenant compte des conditions météorologiques à caractère exceptionnel et non prévisible. 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.

3 IMPACT DU MARNAGE SUR LES ECOSYSTEMES AQUATIQUES

3.1 Introduction

Alors que beaucoup d'études se sont intéressées à l'impact de la construction de barrages sur la faune et ses habitats, relativement peu d'études ont été portées sur les effets des régulations de niveaux d'eau quant à la composition et la santé des écosystèmes.

Le marnage est un terme qui fait référence au changement du niveau de l'eau dû aux marées dans les régions côtières, mais ce terme s'applique aussi aux réservoirs soumis à une régulation de leur niveau d'eau.

Dans le cas du complexe de l'Eau d'Heure, le niveau d'eau de plusieurs baies est occasionnellement très bas lors de la période estivale alors qu'elles sont entièrement sous eaux pendant l'hiver (Figure 5). Compte tenu de l'ampleur de ces variations annuelles et quotidiennes, les impacts sont importants, non seulement pour les poissons se reproduisant à ces endroits, mais aussi pour la flore composant la bande de végétation transitoire entre l'écosystème terrestre et l'écosystème aquatique. Les altérations hydrologiques comme le marnage peuvent donc avoir de sérieuses conséquences sur l'accessibilité et la qualité des habitats. Elles peuvent aussi créer des effets plus subtils, comme la détérioration de cycles alimentaires, la baisse de productivité du milieu ou encore la diminution de la biodiversité (Rosenberg *et al.* 2000).

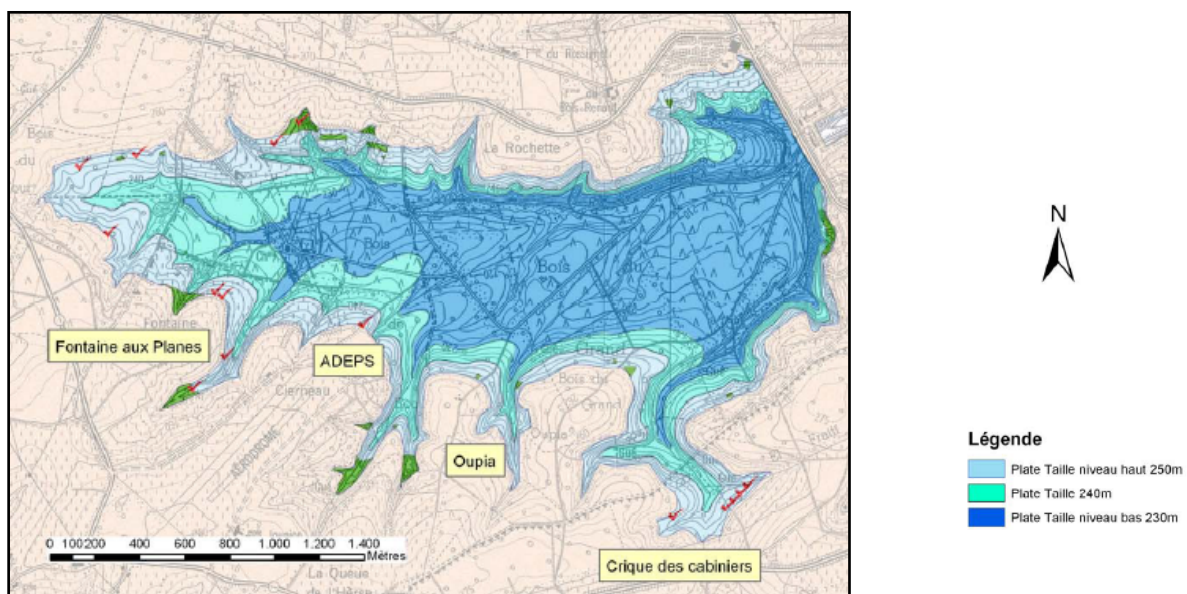


Figure 5 : Localisation des limites supérieure et inférieure du niveau d'eau dans le lac de la Plate Taille (IGRETEC, 2004)

3.2 Impacts sur les macro-invertébrés

Visibles à l'œil nu, les macro-invertébrés regroupent tous les animaux qui n'ont pas de squelette d'os ou de cartilage. Les macro-invertébrés benthiques vivent au fond des ruisseaux, rivières, lacs ou marais. Ils englobent les insectes, crustacés, mollusques, sangsues, vers, acariens et autres. Ces groupes sont d'une importance capitale dans l'écosystème d'un lac puisqu'ils dégradent la matière organique, mangent des algues et surtout, servent de nourriture pour une multitude d'espèces de poissons. Ils sont donc à la base de l'apport d'énergie dans l'écosystème limnologique. Plusieurs études démontrent que la biodiversité des macro-invertébrés est un bon indicateur de la santé d'un lac ou d'une rivière. D'ailleurs, plusieurs pays utilisent cette caractéristique depuis longtemps dans l'évaluation de la qualité de leurs écosystèmes aquatiques. Pour évaluer la qualité de l'eau, la richesse spécifique en groupes d'éphémères (éphéméroptères), de perles (plécoptères) et de phryganes (trichoptères) est souvent utilisée comme critère de qualité d'habitat : plus un cours d'eau est riche en espèces correspondantes, meilleur est son état (Gögge, 2006).

Les organismes benthiques de la zone littorale sont évidemment grandement influencés par les changements de niveau d'eau. En fait, le maintien de communautés prolifiques de macro-invertébrés dépend non seulement de la bonne qualité de l'eau, mais aussi des caractéristiques morphologiques naturelles du plan d'eau. Une baisse importante du niveau d'eau expose de larges zones de sédiments littoraux à l'action des vagues et du vent, ce qui peut entraîner une augmentation de l'érosion des sédiments, une perte de matière organique, une perte de macrophytes et une dégradation de la qualité et de la structure de l'habitat. Par exemple, la réduction des lits de macrophytes dans les zones de bas niveau d'eau pourrait réduire la complexité de l'habitat (*i.e.*, aire de surface, accessibilité de la niche) et donc l'abondance des macro-invertébrés benthiques pourrait y être plus réduite que dans les zones naturelles, où les densités de macrophytes sont importantes (Furey *et al.*, 2006). Les stades de développement de beaucoup d'espèces sont par exemple liés à la présence d'interstices dans le substrat. Si, à cause du marnage, l'érosion des berges dénudées s'accroît, ces interstices seront possiblement colmatés, ce qui peut provoquer la perte de biotopes pour certaines espèces.

Pour passer du stade larvaire au stade adulte, plusieurs espèces ont besoin de structures bien ancrées sur les rives comme des plantes, des souches d'arbres morts ou encore des blocs rocheux (Gögge, 2006). La variation du niveau de l'eau, en plus de nuire au développement

d'une de ces structures (soit les plantes), peut réduire leur accessibilité et donc nuire au développement des macro-invertébrés. De plus, comme les macro-invertébrés sont sensibles au gel et à dessiccation par l'air, une baisse subite du niveau de l'eau peut avoir de sérieux impacts sur la survie des larves d'insectes et des autres invertébrés pendant la saison hivernale. Enfin, une baisse de niveau d'eau peut entraîner un manque d'oxygène dissous dans l'eau et des problèmes d'abrasion des berges, favorisant ainsi l'eutrophisation du lac.

Enfin, les invertébrés benthiques tendent à être sensibles à la diminution du niveau de l'eau car ils sont sessiles ou lents à se déplacer et donc vulnérables à la dessiccation si le niveau d'eau décline rapidement (Bain & Mills, 2004).

3.3 Effet du marnage sur la végétation aquatique

Les plantes aquatiques sont des végétaux dont les parties utiles pour la photosynthèse se trouvent en permanence ou au moins durant plusieurs mois de l'année sous l'eau, à moins qu'elles ne flottent à la surface. Elles n'appartiennent pas à un groupe taxonomique distinct mais forment plutôt une collection de plusieurs taxons de plantes. Le terme de « macrophytes aquatiques » est communément employé pour toutes les formes macroscopiques de la végétation aquatique ; il inclut les algues macroscopiques, quelques fougères et mousses et beaucoup de plantes à fleurs (angiospermes) (Wetzel, 1973).

3.3.1 Rôles de la végétation sans les écosystèmes aquatiques

La végétation aquatique, quelle que soit les formes et les dimensions qu'elle revêt, est un élément indispensable dans tout écosystème aquatique. A ce titre, elle remplit de nombreux rôles.

a) Rôle physico-chimique

Les macrophytes aquatiques affectent fortement l'environnement physique de l'eau. A l'intérieur de plages de végétation aquatique, l'intensité de la lumière décroît rapidement avec la profondeur, bien que de grandes différences existent dans le degré d'atténuation de la lumière entre les espèces (Titus & Adams, 1979). La température diffère également entre ces zones couvertes de plantes et les sites d'eau libre. Le gradient vertical de température au sein de la végétation peut être très prononcé, si bien qu'il y a de grandes différences entre la température de surface et la couche d'eau juste au-dessus des sédiments (Carpenter & Lodge, 1986).

Les macrophytes aquatiques changent les propriétés minérales de l'eau. Par le fait que les plantes vertes produisent de l'oxygène, elles contribuent à la régulation de la concentration en oxygène de l'eau. Pokorny & Rejmankova (1983) ont mesuré une production nette d'oxygène jusqu'à 5.7 mg/l/jour dans de petits étangs à poissons avec des couvertures denses de *Ceratophyllum demersum*.

D'un autre côté, les macrophytes aquatiques peuvent indirectement causer une déplétion en oxygène. La respiration, non compensée par la production d'oxygène durant la nuit, et la mort des macrophytes, consomment directement l'oxygène de l'eau. Habituellement, la majorité des sénescences se produit en automne, lorsque la température de l'eau est basse et que la demande en oxygène des invertébrés et des poissons est faible. Cependant, dans des circonstances anormales, spécialement dans des eaux eutrophes, chaudes, peu profondes et stagnantes, de grandes quantités d'oxygène sont soustraites à la colonne d'eau (Carpenter & Greenlee, 1981).

Les teneurs en gaz carbonique et en bicarbonates dans l'eau sont affectées par la fixation du carbone par les végétaux aquatiques. Il en résulte une élévation du pH. Des cycles journaliers importants de l'oxygène, du pH, des carbonates et bicarbonates sont ainsi observés lors des périodes de végétation importante. Les concentrations en oxygène sont maximales en fin de journée (19 h) et minimales en fin de nuit (6 h), pouvant varier de 25 mg/l à 3 mg/l sur un cycle de 24 heures dans des milieux très chargés en phytoplancton.

Les macrophytes enracinés, submergés et ceux présentant des feuilles flottantes forment un lien vivant entre les sédiments et la colonne d'eau. Les nutriments peuvent être transportés depuis les sédiments jusqu'à l'eau : les plantes à feuilles flottantes comme *Nymphaea* spp et *Nuphar lutea* peuvent potentiellement fonctionner comme une importante pompe à azote et phosphore (Brock *et al.*, 1983). De plus, tous les macrophytes aquatiques peuvent aussi agir comme un puits et immobiliser les nutriments (Howard-Williams, 1981). Ainsi, ces macrophytes ont une position centrale dans le processus de recyclage des nutriments dans les écosystèmes aquatiques. Selon divers auteurs (Symoëns *et al.*, 1982) les populations de végétaux vasculaires peuvent contenir 0,2 à 16 % de l'azote et 1 à 37 % du phosphore des apports annuels.

b) Rôle biologique

Production primaire

Les végétaux constituent l'élément de base des chaînes alimentaires des biocénoses aquatiques. La production de matière première organique à partir de substances dissoutes dans l'eau est l'expression de la synthèse du vivant à partir des composés élémentaires.

Diversification des habitats

Les animaux sont intimement liés à la présence de peuplements végétaux au sein du milieu aquatique ; les plantes leur procurent non seulement de la nourriture mais également des supports et des abris.

La densité des peuplements de macro-invertébrés augmente considérablement en présence de végétaux. Gaudet (1974) signale en Angleterre que dans les rivières à fond caillouteux la densité des organismes est de 3 à $4.10^3/m^2$ alors que dans les mousses et autres végétaux elle peut atteindre $40.10^4/m^2$.

La présence de plantes contribue à l'augmentation de la surface d'accueil potentielle du milieu pour la faune benthique : à 1 m² de sédiment peuvent, selon la nature de la végétation, correspondre plus de 20 m² de surface foliaire. Les végétaux servent en outre de lieux de ponte et de frayère pour invertébrés et poissons. Ils sont utilisés également en tant que matériaux de construction pour les fourreaux larvaires de certains trichoptères ou les cocons de nymphoses de certains lépidoptères.

Source de nourriture

Les végétaux peuvent être consommés directement par les organismes phytophages ou indirectement par des prédateurs du deuxième ou troisième ordre. Les algues planctoniques ou benthiques servent de nourriture à tous les alevins et à quelques poissons adultes (hotu, gardon, corégone). Leurs principaux consommateurs sont les petits invertébrés (rotifères, cladocères, copépodes) qui constituent la masse essentielle de la chaîne alimentaire des poissons. Certaines espèces de poissons (brèmes, carpes, cyprinidés asiatiques) sont herbivores et consomment feuilles ou tiges de phanérogames. Les mollusques, les crustacés et les larves d'insectes se nourrissent des plantes aquatiques.

c) Rôle mécanique

La végétation dense favorise la sédimentation des particules en suspension. (Dawson *et al.*, 1978). Les sédiments déposés peuvent être ultérieurement fixés, les plantes s'y installent et les stabilisent. Racines et rhizomes consolident efficacement des bancs de matériaux fins qui, dans des conditions normales d'écoulement, seraient entraînés vers l'aval.

En bordure des eaux stagnantes les hélophytes s'opposent à l'action érosive des vagues à la fois en les affaiblissant et en fixant les éléments du substrat (Wetzel & Hough, 1973).

3.3.2 Effets du marnage

a) Problème de colonisation et de développement

Les variations du niveau de l'eau constituent une force dominante qui influence grandement la distribution, la composition et la biomasse des zones humides riveraines (Hudon *et al.*, 2005). D'un point de vue purement végétal, les variations de niveau d'eau représentent un facteur dommageable pour la dynamique de colonisation des zones de retenue, tant au point de vue de la diversité que de l'abondance des végétaux. Ainsi, la végétation peut avoir difficile à s'implanter et à former une couverture homogène et protectrice, ce qui augmente la sensibilité des berges à l'érosion et les rend inhospitalières vis-à-vis de la faune (Fraisie, 1999). De plus, un fort marnage provoque en période hivernale, l'émergence des rhizomes de plantes d'herbiers tels que *Polygonum amphibium*, *Nuphar variegatum*, *Brasenia schreberi* et *Sparganium* sp. Ces derniers, non protégés par la couche d'eau, gèlent et voient leur croissance ralentie au printemps. Le mécanisme de création de grands herbiers est ainsi altéré. Les jeunes pousses sont particulièrement vulnérables aux changements de niveau d'eau qui peuvent les placer en eaux trop profondes ou boueuses, ce qui les empêche donc d'avoir accès à une quantité suffisante de lumière. Elles peuvent aussi se retrouver en eaux peu profondes et ainsi être exposées à la turbulence, la dessiccation ou encore à l'enfouissement sous les sédiments (Smart et Dick 1999).

b) Sélection et biodiversité

Une des principales conséquences majeures du marnage sur la flore semble se situer au niveau de la composition des communautés. Selon une étude française, le développement végétal serait freiné lorsque la période d'émergence coïncide avec la période hivernale. En effet, cela obligerait parfois les végétaux à boucler leur cycle phénologique à contre-saison,

c'est-à-dire en hiver (Fraisie, 1999). De ce fait, une sélection des espèces capables de subsister et de boucler leur cycle vital dans de telles conditions est inévitable, aux dépens d'autres espèces végétales moins adaptées à ces changements de niveau de l'eau. Par exemple, le marnage imposerait, pour la portion la plus immergée des berges, une pression sélective importante favorisant les espèces fortement tolérantes et résilientes, comme *Polygonum* spp., *Leersia* et les algues filamenteuses (Hudon, 1997). Dans l'éventualité où aucune espèce fortement tolérante ne se retrouve à proximité, une berge soumise à un marnage sévère se dénudera et deviendra stérile. Il en résultera une destruction des biotopes amphibies et pérennes, soit les zones de frayères pour le poisson, ainsi que les zones de couvert et de nourriture pour l'avifaune et la faune terrestre (Fraisie, 1999).

Cependant, il est important de mentionner que des changements dans le niveau d'eau n'ont pas seulement des effets négatifs. Il est normal que le niveau d'un lac varie légèrement selon la période de l'année et les conditions climatiques. Un niveau d'eau trop stable pourrait réduire l'hétérogénéité du milieu, diminuant ainsi la biodiversité en plus d'augmenter les chances que des plantes terrestres envahissent l'espace (Hawes, 2003). En fait, il semble que la biodiversité en général soit corrélée avec le niveau de perturbation du milieu. Un niveau de perturbation « intermédiaire » correspond à un maximum de biodiversité alors que l'absence ou de trop fortes perturbations correspondent à une faible biodiversité. Le niveau optimal de perturbation est variable et dépend de plusieurs facteurs, comme de sa nature (vague, courant, vent, température, etc.), de la géomorphologie du milieu (lac, marais, montagnes, etc), mais surtout des espèces animales et végétales présentes.

3.4 Effet du marnage sur la population piscicole

Pendant la période de reproduction, beaucoup d'espèces de la zone tempérée ont besoin de sites avec des zones couvertes de macrophytes pour y déposer leurs œufs. Ainsi, Major *et al.* (2001), dans un rapport sur l'état de la population de doré jaune (*Stizostedion vitreum*) dans un lac canadien soumis à un marnage important, ont établi une relation significative entre le recrutement de cette espèce et le niveau d'eau du lac lors de sa reproduction. En effet, l'abondance de dorés a diminué de façon importante et systématique lors des années présentant un faible niveau d'eau pendant la période de frai et d'alevinage. A l'inverse, lors des années où le niveau d'eau est plus important, ces mêmes auteurs ont observé un recrutement normal chez cette espèce. Ils imputent l'étroite relation entre le recrutement et le niveau d'eau à une perte d'habitats d'alevinage sur le pourtour du lac, ou encore à

l'accessibilité restreinte à certaines frayères en périodes de niveaux d'eau très bas. Gaboury & Patalas (1983) ont de leur côté observé des brochets et des dorés jaunes incapables d'accéder à leurs sites de frai dans des plans d'eau soumis à un marnage important.

De plus, pour que l'incubation se déroule avec succès, la concentration en oxygène doit être suffisante. De même, lors de l'éclosion, les larves ont besoin d'un substrat et d'oxygène. La fourniture en oxygène pour les larves est maximale près de la surface des feuilles. Les jeunes poissons ont également besoin de plantes pour se protéger de la prédation par les espèces piscivores (Hosn & Downing, 1994) ou pour éviter le cannibalisme (Grimm, 1981). En réduisant l'habitat disponible pour les poissons, la baisse du niveau de l'eau tend à les concentrer, changeant de cette manière la dynamique des interactions entre les organismes aquatiques. Olden & Jackson (2001) ont d'ailleurs démontré qu'une diminution du niveau d'eau augmentait significativement la prédation. En effet, lorsque le niveau d'eau est très bas, les proies sont beaucoup plus accessibles pour les prédateurs. Dès lors, une augmentation de la croissance de ces derniers est observable. Par contre, la croissance des prédateurs peut tendre à diminuer si cette situation de basses eaux persiste, car à un certain point, la densité de proies, ainsi que la production des macro-invertébrés et des petits poissons, diminuent (Bryan *et al.*, 1995). Chez les adultes, plusieurs espèces comme la tanche (*Tinca tinca*), le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*) et le brochet (*Esox lucius*) vivent parmi la végétation aquatique émergente et à feuilles flottantes. La végétation aquatique submergée forme des habitats importants pour la recherche de nourriture du gardon (*Rutilus rutilus*), de la perche (*Perca fluviatilis*), de l'ablette (*Alburnus alburnus*) et de l'anguille (*Anguilla anguilla*). Quelques espèces ont besoin de plantes submergées pour se nourrir, et spécialement le gardon qui consomme des quantités importantes de macrophytes. De petites quantités de matériel végétal ont également été retrouvées dans le régime alimentaire de la tanche, de la brème (*Abramis brama*), de la carpe (*Cyprinus carpio*), du goujon (*Gobio gobio*), du chevesne (*Leuciscus cephalus*) et de l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*) (Prejs, 1984). Les fluctuations de niveaux peuvent ainsi affecter le succès et le régime alimentaire de ces espèces. La température de l'eau et la grandeur de l'habitat disponible, mais surtout l'accessibilité aux zones d'alimentation, représentent des facteurs qui influenceront l'alimentation des individus. Par exemple, l'alimentation des juvéniles de nombreuses espèces se compose principalement de petits invertébrés. Une réduction de ceux-ci ou de leur accessibilité peut entraîner une difficulté d'alimentation pour les juvéniles et éventuellement une réduction du recrutement.

La disposition des macrophytes et la morphologie du substrat sont deux autres facteurs qui influencent le succès alimentaire des poissons et qui sont affectés par le marnage.

Les espèces fauniques aquatiques peuvent être vulnérables aux changements de niveau d'eau de façon directe, par l'effet de la profondeur de l'eau ou par les variations de qualité de l'eau à leur niveau. Elles peuvent aussi être affectées de façon indirecte par l'effet de l'hydrologie sur l'accessibilité aux zones humides herbacées critiques pour l'accomplissement des différents stades leur vie (Hudon *et al.*, 2005). Il est aussi particulièrement intéressant de noter que Kitchell & Koshinsky (1996) n'ont observé aucun signe d'adaptation compensatoire dans les stratégies de vie et de reproduction des communautés de poissons des lacs réservoirs Namakan et Rainy et cela, même après des dizaines d'années consécutives de marnage.

Tableau 2 : Zones occupées préférentiellement par des poissons adultes dans des lacs d'Allemagne du Nord. 1: Eulittoral (zone avec des macrophytes aquatiques émergents). 2: Littoral (zone avec des macrophytes aquatiques submergés et à feuilles flottantes). 3: Littoral inférieur (zone avec des lits de characées dispersés). 4: Littoral profond (pas ou très peu de macrophytes aquatiques vivants). 5: Pélagique (zone d'eau libre) (d'après Grosch, 1978 in De Nie, 1987)

Espèce	Zone dans le lac				
	1	2	3	4	5
<i>Anguilla anguilla</i> (anguille)		+	+	+	
<i>Esox lucius</i> (brochet)		+			
<i>Abramis brama</i> (brème)				+	
<i>Alburnus-alburnus</i> (ablette)					+
<i>Blicca bjoerkna</i> (brème bordelière)		+			
<i>Carassius carassius</i> (carassin)		+			
<i>Cyprinus carpio</i> (carpe)		+			
<i>Gobio gobio</i> (goujon)	+				
<i>Leuciscus cephalus</i> (vandoise)				+	
<i>Rhodeus sericeus</i> (bouvière)		+			
<i>Rutilus rutilus</i> (gardon)		+			
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (rotengle)		+			
<i>Tinca tinca</i> (tanche)		+			
<i>Misgurnus fossilis</i> (loche d'étang)		+			
<i>Silurus glanis</i> (silure glane)		+		+	
<i>Lota lota</i> (lotte)					
<i>Gasterosteus aculeatus</i> (épineche)	+				
<i>Perca fluviatilis</i> (perche)	+	+	+	+	+
<i>Lucioperca lucioperca</i> (sandre)					+

Tableau 3 : Liste des espèces de poisson dans le lac Constance (Allemagne), vivant temporairement dans la zone de végétation émergente. 1. Aire de nourrissage; 2. Aire de reproduction. (Deufel, 1978 in De Nie, 1987)

Espèce	Rôle de la végétation émergente	
	1	2
Anguilla anguilla (anguille)	+	
Esox lucius (brochet)		+
Abramis brama (brème)		+
Blicca bjoerkna (brème bordelière)		+
Cyprinus carpio (carpe)		+
Gobio gobio (goujon)	+	+
Leuciscus cephalus (chevaine)		+
Leuciscus leuciscus (vandoise)		+
Phoxinus phoxinus (vairon)	+	
Rhodeus sericeus (bouvière)		+
Rutilus rutilus (gardon)	+	+
Scardinius erythrophthalmus (rotengle)	+	+
Tinca tinca (tanche)	+	+
Misgurnus-fossilis (loche d'étang)	+	+
Silurus glanis (silure glane)		+
Cottus gobio (chabot)	+	

Moss (1979) a mentionné un déclin des prises dans le Norfolk Broads and Rivers après une diminution dramatique de la végétation aquatique. Les perches (*Perca fluviatilis*) et les goujons (*Gobio gobio*) sont devenus moins abondants, probablement à cause de l'érosion de la diversité des habitats.

Grosch (1980) a étudié l'évolution de la composition piscicole dans les lacs Havel (Allemagne). Au début du 20ème siècle, 28 espèces indigènes étaient présentes. En 1965, ces espèces étaient toujours présentes ; cependant, en 1979, 6 espèces ont commencé à disparaître parmi lesquelles le barbeau (*Barbus barbus*), la vandoise (*Leuciscus leuciscus*) et la loche d'étang (*Misgurnis fossilis*). Près de 9 espèces étaient pratiquement éteintes ou trouvées sporadiquement, dont l'éperlan (*Osmerus eperlanus*), le chevesne (*Leuciscus cephalus*), l'épinoche (*Scardinius erythrophthalmus*), le goujon (*Gobio gobio*), le silure (*Silurus glanis*) et la lotte (*Lota lota*). Parmi les 5 espèces qui sont devenues rare, le brochet (*Esox lucius*), le carassin (*Carassius carassius*) et la tanche (*Tinca tinca*) ont été mentionnés. Ces changements ont été probablement liés à la diminution des plantes aquatiques (voir correspondance avec le tableau 2). D'un autre côté, la brème (*Abramis brama*), la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*), la perche (*Perca fluviatilis*), la grémille (*Gymnocephalus cernua*) et le sandre (*Stizostedion lucioperca*) ont vu leur population augmenter. Seule l'anguille, du fait d'un repeuplement intense, et l'ablette (*Alburnus alburnus*) sont restées stables depuis 1965. Les prises de sandre ont augmenté considérablement. Cette espèce reste habituellement dans la zone pélagique et nécessite des sédiments nus pour le frai.

4 BIOLOGIE DE QUATRE ESPECES PHYTOPHILES

4.1 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du brochet (*Esox lucius* L.) (Nemry et al., 2007)

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 & 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 & 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 & 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 & 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 reproduit en mars tandis que celles des grands lacs, dont les eaux se réchauffent plus lentement, se reproduisent un mois plus tard. Selon Gillet (1989) 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 frai doivent satisfaire à trois fonctions essentielles :

- Offrir des supports adhésifs aux œufs puis aux pro-larves ;
- Présenter des abris pour la protection des post-larves contre les prédateurs ;
- Assurer des ressources alimentaires en quantité et qualité suffisantes.

Le brochet va donc rechercher au printemps des zones bien pourvues en végétation pour sa reproduction, généralement de faible profondeur, se réchauffant vite, qui se situent dans la plaine d'inondation des systèmes potamiques et dans la zone littorale des lacs et étangs. Ainsi, dans les prairies et landes submergées par les crues printanières, les marécages connexes, les zones rivulaires peu profondes (platières) et les systèmes latéraux tels que les bras morts et les tributaires (fossés en particulier) constituent d'excellents milieux de reproduction du brochet (Souchon, 1984).

Si la présence de végétation semble indispensable pour sa reproduction, le brochet fait preuve d'un certain opportunisme dans le choix du substrat. Il recherche de préférence une végétation terrestre submergée de type graminéoïde (Dubé & Gravel, 1978) ou une végétation aquatique émergente de type héliophytes à feuilles graminiformes comme *Carex* sp., *Scirpus* sp., *Eleocharis* sp., caractéristiques des milieux de faible profondeur (0,2 à 1m). Ces formations végétales, organisées en couvertures denses et courtes, sont les plus favorables (Fabricius & Gustafson, 1958). En l'absence de ces substrats préférés, les poissons peuvent se reproduire sur d'autres types de supports.

A l'extrême et dans des conditions expérimentales, plusieurs auteurs ont constaté que des œufs avaient pu être déposés sur des substrats aussi divers que des aiguilles de pin (Fabricius & Gustafson, 1958), du blé d'hiver (Forney, 1968), du foin coupé en vrac ou en botte (Mc Carraher & Thomas, 1972).

En milieu lacustre, les conditions optimales pour l'espèce correspondent à la présence d'une ceinture de végétation littorale large de 5 à 10 m, dont la partie submergée (hydrophytes), utilisable comme frayère, représente environ 20 % de la surface du lac. Idéalement, le recouvrement de la végétation aquatique (héliophytes + hydrophytes) devrait atteindre en été 40 voir 80 % de la surface en eau, avec une distribution en « îlots » (Hess & Heartwell, 1979 ; Gilliland & Boxrucher, 1995 ; Casselman & Lewis, 1996 ; Grimm & Klinge, 1996 ; Chancerel, 2000 ; Chancerel, 2003). Au fur et à mesure de leur croissance, les individus occupent des secteurs avec une densité de végétation décroissante (Casselman &

Lewis, 1996). D'une manière générale, la présence d'une ceinture de végétation bien développée, composée d'hydrophytes (submergés) et d'hélophytes (partiellement émergés) est un facteur qui conditionne la présence et le maintien du brochet. Un facteur favorable supplémentaire serait la permanence de ces abris pendant la période hivernale (espèces végétales aquatiques pérennes : Grimme & Klinge, 1996). L'abondance du brochet en plans d'eau évolue en fonction inverse du ratio profondeur moyenne/profondeur maximale (gamme optimale : 0,15-0,25 ; Minns *et al.*, 1996). Ces conditions démontrent l'importance à la fois du développement de la zone littorale (jusqu'à 2-5 m de profondeur) et de son hétérogénéité (Eklöv, 1997). En grands plans d'eau, la superficie utile pour le brochet correspond à la zone littorale jusqu'à une profondeur d'une dizaine de mètres (Craig, 1996). En petits lacs peu profonds (profondeur moyenne d'environ 5 m), l'espèce se cantonne plus à la zone littorale et exploite la totalité du plan d'eau. Dans ces conditions, la population de brochet est proportionnelle à la surface du lac (Margenau *et al.*, 1998).

Le site idéal de ponte est une prairie inondée avec des chenaux de 0,5-1 m de profondeur permettant la circulation des géniteurs. En lacs naturels, sans zone d'inondation, le frai se déroule sur des hydrophytes submergés à moins de 1 m avec *Elodea*, *Myriophyllum* (Hess & Heratwell, 1979 ; Fortin *et al.*, 1983 ; Gilliland & Boxrucker, 1995 ; Bry, 1996 ; Chancerel, 2000, Muus & Dahlström, 2003), mais dans le lac de Windermere (Grande-Bretagne), les pontes ont lieu vers 2-3 m de fond (Casselman & Lewis, 1996).

Les biologistes nord-américains insistent sur la présence de deux zones contigües, abritées du vent, avec une végétation submergée : celle pour la reproduction proprement dite (phase ponte-éclosion) et celle dite de nurserie, d'une plus grande superficie. Dans ces zones de nurserie, où vivent les juvéniles pendant quelques semaines, la lame d'eau est un peu plus importante (1 m), la végétation aquatique peut être moins dense et n'occuper que 15 % de la superficie sur environ 5 m de large.

D'après les données du conseil supérieur de la pêche français (CSP), il faut compter de 500 à 2000 m² de frayères-nurseries par hectare en eau, avec, idéalement, un taux de couverture par la végétation atteignant 60% (Chancerel, 2000 ; Chancerel, 2003). Sur les sites nord-américains, la surface de frayère nécessaire est d'environ 200 m²/ha. Plus précisément, 1 ha de frayère-nurserie peut accueillir environ 12 femelles (Kelso & Minns, 1996). Tandis que Minns *et al.* (1996) indiquent la relation : Surface de la frayère (m²) = [L moy. Des femelles (cm)] x 50 à 80.

La superficie de ces différents habitats et les proportions qu'elles représentent par rapport à la surface du plan d'eau, expliquent qu'une population de brochets, espèce territoriale, ne peut s'implanter et se maintenir que dans des plans d'eau de superficie relativement importante.

Des précautions sont nécessaires dans la gestion hydraulique d'un site pour assurer au brochet l'accès et l'usage des frayères en zone littorale, en particulier sur des retenues : un niveau d'eau stable pendant quatre à huit semaines, de la période de reproduction jusqu'à la phase d'alevins nageants, assure une meilleure survie pour les œufs et les larves et de plus fortes cohortes de juvéniles (Casselman & Lewis, 1996 ; Chancerel, 2000 ; Chancerel, 2003).

Casselman & Lewis (1996) ont développé un système pour classier, ordonner et évaluer les différentes caractéristiques physiques des lieux de frai du brochet, grâce à l'analyse de la littérature scientifique ainsi que par des observations de terrain (Tableau 4). 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 : Facteurs environnementaux conditionnant le succès reproducteur du brochet.

Facteurs	Importance relative	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	Multiples connexions qui permettent aux géniteurs d'accéder à la zone de frai 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 & 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 (Mingelier *et 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 & 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 & Schroeder, 1978). Les niveaux constants sont également peu propices à la reproduction du brochet et particulièrement les niveaux bas et constants (Inskip 1982; Gravel & 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 4-6 µg/L est

préjudiciable à la croissance et à la survie des alevins (Adelman & 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 & 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 & 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 (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) :

- identifier, éviter et échapper aux prédateurs ;
- localiser, capturer et digérer une nourriture adéquate ;
- 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 & Higgs, 1997).

Le type de nourriture ingérée est fonction du stade de développement des individus (Schmitt & Holbrook, 1984; Stoner & Livingston, 1984). Par exemple, la force de la mâchoire peut limiter le type de proie (Wainwright, 1987; Gallis, 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 & 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 de frai 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 au frai, ce qui est tout à fait erroné (Casselman & 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 & 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. Ce même auteur a observé une préférence pour des espèces végétales telles que *Myriophyllum* sp et *Potamogeton* sp..

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 & 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 & Lewis, 1996). Les alevins semblent plus tolérants que les adultes aux diminutions de concentration en oxygène et montrent des valeurs critiques plus basses (Casselman & 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 des 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

brochets (Grimm & Backx's, 1990). Selon Holland & 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 & Lewis, 1996). Le type de macrophyte préféré varie en fonction du stade de développement des individus : végétation émergente pour le frai, végétation flottante et submergée pour les juvéniles et végétation submergée pour les adultes (Casselman & 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 & Mackay, 1984a ; Cook & 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 & 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*.

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 6). Cette végétation ne sert pas uniquement pour le frai mais influence tous les stades de développement du brochet. Les brochets de taille inférieure à 54 cm 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 leur couvert, qu'ils retrouvent néanmoins pour le frai (Grimm & Klinge, 1996).

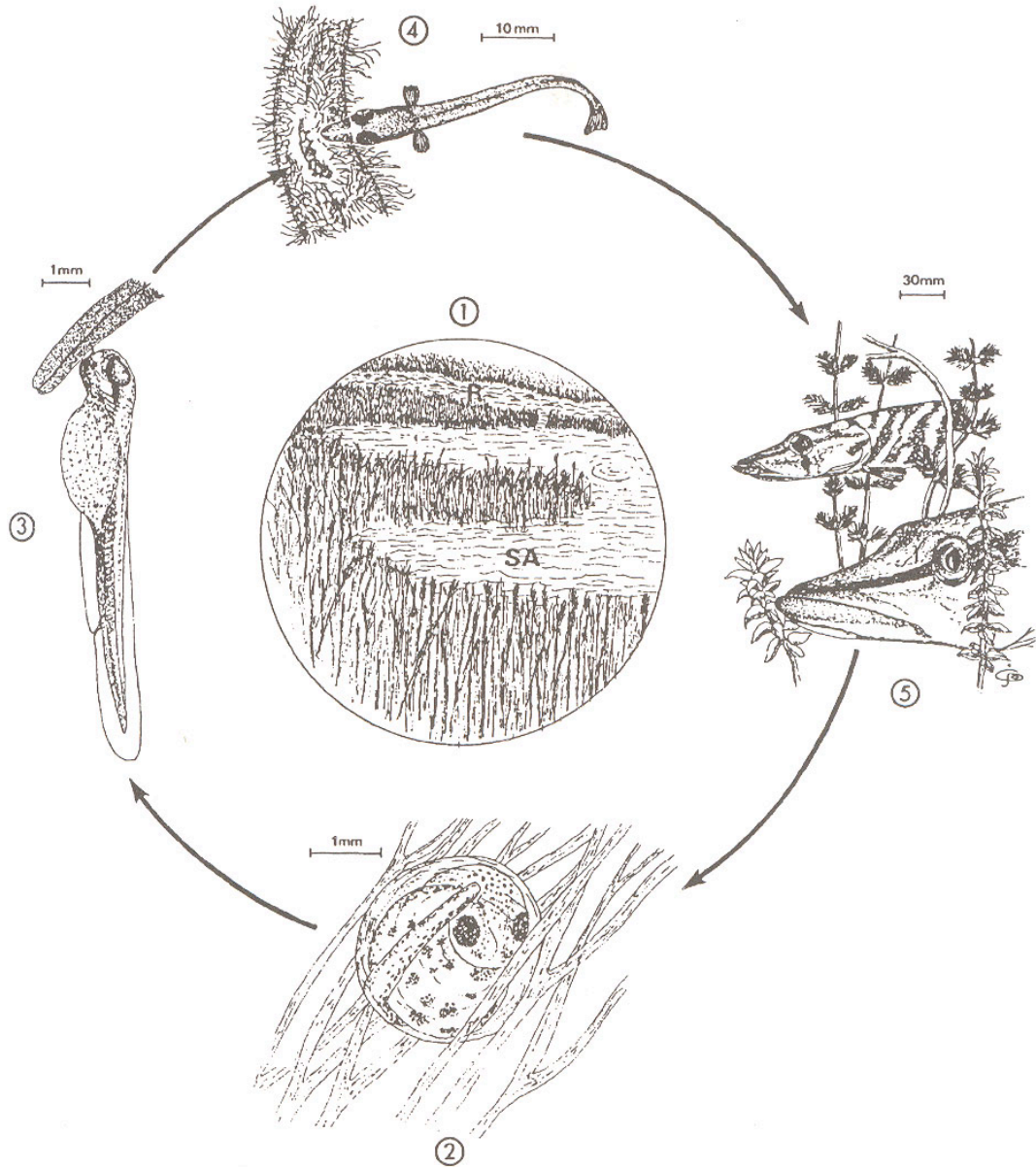


Figure 6 : Importance de la végétation dans le cycle du brochet : (1) zone de frai, (2) œuf attaché à la végétation aquatique, (3) embryon libre attaché à la végétation par des papilles adhésives, (4) prédation de petits brochets sur des larves de *Chironomidae* et (5) utilisation de la végétation pour 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 5.

Tableau 5 : 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+ jusqu'à 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 telles que des *Juncaceae* (e.g. *Juncus ranarius*) et quelques *Cyperaceae* (e.g. *Eleocharis ovata*).
- Plantes héliophytes (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 *Labieae* 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 7 représente la structure type de l'habitat dont le brochet a 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 influencées par le nombre et la nature des plantes aquatiques présentes.

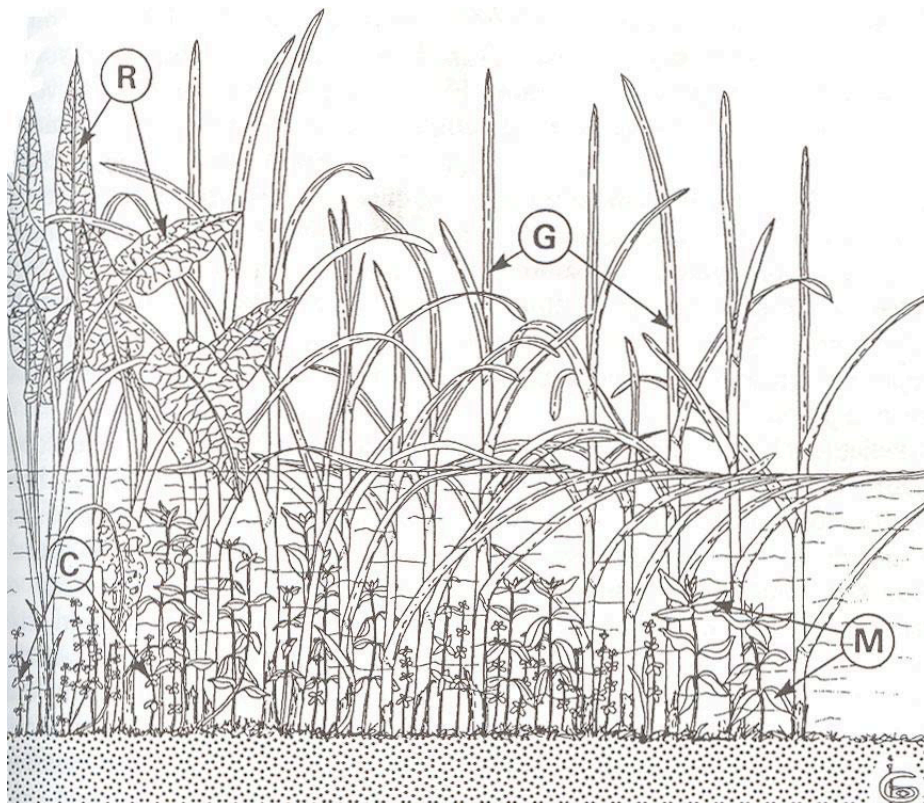


Figure 7: Exemple d'association floristique observable dans les zones de reproduction et de croissance du brochet à la mi-avril, 3-5 semaines après le frai, dans le nord de la France. La végétation émergente est composée de *Glyceria maxima* (G) et de *Rumex hydrolapathum* (R); la végétation flottante 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 6).

Tableau 6 : Types de végétation aquatique rencontrés dans les zones du frai 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)

4.2 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie du gardon (*Rutilus rutilus* L.) (Nemry et al., 2007)

4.2.1 Reproduction du gardon

Les poissons commencent leur préparation physiologique pour le frai dès la fin du frai précédent. 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 le frai : augmentation de la prise alimentaire, prise de poids et couleurs des nageoires plus vives (Everard, 2006).

4.2.2 Le frai

La ponte du gardon se déroule d'avril à juin (Bruslé & Quignard, 2001 ; Gillet 1989), à une température de l'eau comprise entre 14°C et 16°C (Huet, 1983) ou entre 12 et 14°C (Maitland & Campbell, 1992). Le frai du gardon coïncide avec le bloom 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 1989), et il est également possible que le frai ait lieu plus tard dans l'année (Everard, 2006).

Le facteur prépondérant pour le déclenchement du frai est la photopériode. La durée du jour stimule la production de l'hormone gonadotrope liée à la reproduction. La température, d'une importance secondaire pour le déclenchement du frai, régule toutefois son intensité et sa durée (Worthington *et al.*, 1982; Jafri, 1990 ; Nõges & 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 le frai, une étude réalisée dans le lac de Genève (Gillet & Quétin, 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 le frai a lieu plus tôt quand le printemps est chaud que quand il est froid, comme observé par Wilkonska & 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 du frai 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 & 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 & Quignard, 2001; Gillet 1989). Des conditions défavorables, telles que de mauvaises conditions météorologiques, peuvent interrompre temporairement ou même définitivement le frai (Gillet 1989).

4.2.3 Les frayères

La plupart des frayères à gardons sont décrites dans la littérature comme étant des zones peu profondes recouvertes de végétaux aquatiques (Gillet 1989). 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 & 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 1989). Quelques données relatives à cette plasticité sont exposées au tableau 7. Malgré tout, les gardons montrent une préférence pour les zones peu profondes à courant léger et à végétation dense (Everard, 2006). Selon Gillet & Dubois (1995), la nature du matériau utilisé comme substrat de frai 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 mentionnés 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 1989).

Tableau 7: Composition et profondeur des frayères naturelles du gardon (*Rutilus rutilus*) (Gillet, 1989).

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 ZUROMSKA, 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

4.2.4 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 7), la plupart des œufs se trouvent souvent dans les premiers centimètres (Bruslé & Quignard, 2001 ; Gillet 1989). 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, 1989). 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, 1989). 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 & Winkler, 1985). Ce risque semble augmenter avec la latitude (Lappalainen & Tarkan, 2007).

La durée d'incubation des œufs varie entre 4 et 10 jours en fonction de la température (Schlumberger & Gouy, 1998). L'étendue de la gamme des températures favorables au développement embryonnaire diminue fortement les risques de mortalités dues à un refroidissement (Gillet, 1989). 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 présentes à la surface des lacs et des rivières en fonction des conditions météorologiques ou de navigation arrachent les œufs à leur substrat et sont responsables de mortalités embryonnaires (Gillet, 1989). 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 s'ils peuvent être soumis à l'action des vagues (Everard, 2006).

4.2.5 *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 & Quignard, 2001).

La différenciation des nageoires dorsale et anale, 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 ; Rosas & 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 leur 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 de 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 arêtes 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).

4.2.6 Caractéristiques de l'habitat des adultes

Le gardon est un poisson principalement planctonophage, mais les adultes ingèrent également des algues et du macrozoobenthos (organismes vivants sur le fond) (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 (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 ; 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) observe le contraire chez les juvéniles.

4.3 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie de la perche (*Perca fluviatilis* L.)

4.3.1 Taxonomie et description

Il existe trois espèces de perche dont la biologie est très similaire : *Perca fluviatilis* (Perche européenne), *Perca flavescens* (perche jaune ou percheaude) et *Perca schrenki*. La perche appartient à l'ordre des Perciformes et à la famille des Percidae (Rougeot, 2008).

La perche est largement distribuée dans l'hémisphère nord. La répartition géographique de la perche est limitée par la température de l'eau en raison de ses effets sur le processus métabolique. La perche a également été introduite dans quelques pays comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande et l'Afrique du Sud (Muus et Dahlström, 2003).

La perche tolère une grande variété d'environnements, mais préfère les eaux douces modérément productives de faible profondeur. Bien qu'elle soit une espèce d'eau douce, elle est également présente dans les eaux salées de la mer Baltique grâce à sa tolérance euryhaline. La perche préfère les rivières avec des conditions lenticques et est également présente dans les lacs profonds, jusqu'à 40m de profondeur. Elle tolère une large gamme de températures (4-31°C), ce qui détermine également sa distribution géographique. Quelques caractéristiques écologiques sont résumées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Caractéristiques écologiques requises par la perche (*Perca fluviatilis*)

Température	4-31°C
Oxygène	1.3-13.5mg/l
Salinité	<10%
pH	6-12
Comportement social	
Jeunes	grégaire
Adultes	non-grégaire
Régime alimentaire	carnivore - piscivore
Vitesse du courant	
Larves	<2.5 cm/s
Adultes	60 cm/s

4.3.2 Reproduction de la perche

La perche fraie au printemps, quand la température de l'eau et la photopériode augmentent après une longue période de gamétogenèse initiée durant l'automne, l'hiver et le début du printemps (Wang *et al.*, 2006). Un rythme saisonnier avec des périodes de basses températures est nécessaire pour assurer la continuité de la vitellogenèse. Ainsi, pour maturer,

la perche a besoin d'au minimum 160 jours de froid à une température inférieure à 8°C. A l'inverse, de trop hautes températures ou une absence de chute de températures peut provoquer la résorption des œufs et un mauvais fonctionnement des gonades chez la majorité des espèces d'eau douce et parmi elles la perche (Luksiene, 1986; Luksiene & Sandström, 1994). La température est également le facteur prépondérant dans la maturation finale de l'ovocyte et le déclenchement du frai (Van Der Kraak & Pankhurst, 1997). Celui-ci commence au début du mois de mars au sud de la zone de répartition de la perche et à la fin juin au nord de cette zone. Les pontes les plus tardives sont corrélés aux températures les plus basses. Le seuil thermique nécessaire au déclenchement du frai diminue lorsque la latitude augmente : il se pourrait que ce seuil s'abaisse lorsque le frai tarde à se produire (Thorpe, 1977).

A la latitude de la Belgique, la perche commune se reproduit durant les mois d'avril et de mai lorsque la température de l'eau en surface atteint les 10-14 °C (Treasurer, 1988 ; Gillet & Dubois, 2007). Pour pondre, la femelle se raidit en se redressant en forme de U et en nageant en spirale. L'ensemble des œufs est déposé en une seule fois tandis que le mâle émet sa laitance le plus près possible de la femelle. Les œufs sont alors solidement attachés ensemble pour former de longs rubans gélifiés de 1 à 6 cm de large sur 10 cm à 1,5 m de long pour les plus grandes femelles (>1kg). Cette structure se forme par l'interaction entre les protéines du fluide ovarien et de la partie extérieure de l'ovule lorsque les œufs entrent en contact avec l'eau, conduisant à leur attachement les uns aux autres. Ce mécanisme est unique chez les poissons téléostéens (Mansour *et al.*, 2009). L'absorption d'eau par les œufs dure environ 50 minutes à 14°C et environ 25 minutes à 26°C, induisant une augmentation considérable du volume de l'œuf (Korzelecka *et al.*, 1998). Ainsi, la taille des ovules lors de la ponte varie de 1.0 à 2.0 mm en fonction de la femelle. Après fertilisation et hydratation, leur diamètre augmente jusque 1.9 – 2.8 mm. La structure ainsi constituée assure une oxygénation optimale des œufs en suspendant ceux-ci dans l'eau et les protège de blessures mécaniques. De plus, la couche gélifiante a un effet antifongique, permettant un pourcentage d'embryonnement élevé (Korzelecka *et al.*, 1998 ; Paxton & Willoughby, 2000). Contrairement aux autres poissons téléostéens, la zona radiata (enveloppe de l'œuf) de la perche est très sensible à la pression mécanique et peut être aisément brisée. Néanmoins, la présence d'une enveloppe gélatineuse épaisse supplémentaire assure la protection de l'œuf. Le nombre d'œufs par ruban varie entre 9 000 et 75 000 (Treasurer, 1981). Gillet & Dubois (1995) ont montré que la taille des rubans d'œufs était positivement corrélée à la taille de la femelle qui les dépose. Les mâles atteignent

la maturité sexuelle à 2 ou 3 ans et les femelles de 1 à 3 ans plus tard (Muus & Dahlstrøm, 2003).

Les femelles favorisent les structures complexes pour y déposer leurs œufs (Gillet & Dubois, 2007). Bien que la femelle puisse déposer ses œufs sur de la végétation vivante submergée (Treasurer, 1983), il apparaît que la végétation morte est un substrat de ponte idéal car ces structures assurent aux œufs une bonne oxygénation tout au long du nyctémère (Cech *et al.*, 2009). La profondeur de ponte semble dépendre de la température de surface. Gillet *et al.* (2007) ont ainsi observé une augmentation de la profondeur de ponte avec l'avancement de la période de ponte sur le lac de Genève à mesure que la température de surface augmentait. Des résultats similaires ont été observés sur le lac Chabarovice en République Tchèque par Cech *et al.* (2009). D'autres facteurs entrent également en compte dans le choix du site de ponte, comme la radiation UV ou le stress hydrodynamique. Ainsi, Probst *et al.* (2009) ont suggéré que le succès reproductif de la perche était non seulement basé sur la température et la structure du substrat, mais également corrélé au choix d'un site en eaux calmes et abritées, où l'effet du vent et des vagues est atténué. Les populations peuvent ainsi changer de zones de frayères lorsque les vents dominants évoluent pendant le frai (Jones, 1981). Le stress hydrodynamique pourrait avoir un impact direct sur les rubans d'œufs de perche en perturbant leur structure via les forces de cisaillement, ou indirect par l'étouffement des œufs avec la remise en suspension des particules, causant la mort par carence en oxygène (Probst *et al.*, 2009).

4.3.3 L'œuf et son développement

Chez la perche, comme chez tous les poissons, la durée d'incubation dépend de la température. La gamme de températures pour un bon développement embryonnaire est de 8 à 18 °C avec un optimum à 13°C (Saat & Veersalu, 1996). Hokanson & Kleiner (1975) ont démontré qu'une élévation progressive de 0,5 à 1°C par jour constitue le meilleur régime thermique pour le développement embryonnaire de la perche. Treasurer (1983) a observé une période d'incubation de 20 jours à 10,5°C alors que Korzelecka *et al.* (1998) ont observé l'éclosion des premières larves après 110 degrés-jour dans des conditions de laboratoire. Cependant, Guma'a (1978) soutient que l'intervalle d'incubation à température constante obtenu en conditions expérimentales diffère de celui obtenu en conditions naturelles, la température augmentant rapidement au printemps et donc accélérant l'apparition de l'éclosion. Cette dernière survient généralement après une période de une à trois semaines en fonction de la température du milieu (Swift, 1965). Le succès de la reproduction naturelle de

la perche dépend beaucoup des facteurs climatiques, principalement du vent et de la température pendant les premières semaines de la vie larvaire (Clady, 1976). Dans les conditions les plus défavorables, le recrutement des juvéniles de la perche peut être pratiquement nul (Craig & Kipling, 1983). De plus, il a été montré que chez la percheaude *Perca flavescens*, de petites différences initiales dans les classes de taille peuvent être accentuées par une mortalité dépensatoire résultant de la prédation par le doré *Stizosteidon vitreum vitreum* et les perches adultes durant le premier été de leur vie (Forney, 1971, 1977 ; Noble, 1971).

La gamme de températures requise pour assurer la survie des larves à l'éclosion se situe entre 6 et 22°C. Les plus longues larves et les mieux développées sont issues d'œufs incubés à 12-16°C (Terlecki, 1991). A l'éclosion, les larves ont en moyenne une taille de 3,5 mm (Korzelecka *et al.*, 1998).

4.3.4 Vie des individus adultes

Ensemble avec une ou deux autres espèces, la perche (*Perca fluviatilis*) représente la communauté de poissons piscivores dans la majorité des lacs tempérés européens, et est généralement considérée comme un prédateur important dans les lacs présentant une transparence importante de l'eau (Dörner *et al.*, 2003). Dans plusieurs études, il a été fait état que les poissons planctonophages (spécialement les cyprinidés) dominant dans les lacs fortement eutrophes et les lacs hypertrophiques alors que les poissons piscivores, et parmi eux les perches, sont plus fréquents dans les lacs avec un état trophique modéré (Hartmann & Nümann, 1977 ; Persson *et al.*, 1991).

La perche est une espèce habituellement carnivore et piscivore. L'alimentation survient principalement à l'aube et au crépuscule. Les jeunes larves mangent dans un premier temps des algues et du zooplancton (rotifères, cladocères, copépodes) et par la suite des larves d'insectes et des petits poissons. Le cannibalisme est une caractéristique importante chez cette espèce et apparaît avant tout chez les jeunes alevins (1,5 cm). Les larves et les jeunes juvéniles sont grégaires tandis que les adultes vivent de façon plus solitaire.

Dans leur habitat naturel, la perche eurasienne affiche une croissance lente comparée aux autres espèces de percidés, et elle est caractérisée par un poids important et une hétérogénéité de taille résultant de la compétition alimentaire. Le taux de croissance est dépendant de la saison, avec un maximum à la fin du printemps et en été, et un minimum, voire même un arrêt, à la fin de l'automne et durant l'hiver. La température optimale pour la croissance est de

23°C. La longueur moyenne du corps de la perche se situe entre 20 et 35 cm avec un maximum de 51 cm tandis que le poids moyen varie entre 0.3 et 2 kg pour un maximum de 5 kg. La perche présente un dimorphisme de croissance, les femelles grandissant 20 % plus vite que les mâles (Rougeot *et al.*, 2008).

Les grands spécimens sont des chasseurs actifs la journée (Jacobsen *et al.*, 2002), cherchant leur proies dans les pleines eaux plutôt que dans les zones de végétation (Craig, 1978). Par sa prédation, la perche assure un contrôle de l'abondance des larves de poissons (Dörner *et al.*, 1999) et joue donc un rôle vital en structurant la communauté de poissons. Le régime alimentaire de la perche varie en fonction des conditions du milieu et de la période de l'année. Ainsi, lors des saisons chaudes, le zooplancton constitue une part importante du régime alimentaire de la perche alors qu'en hiver ces sont les animaux inférieurs (Hartmann, 1974 ; Craig, 1978) ou les poissons (Skora, 1964 ; Baczkowska, 1965) qui constituent l'essentiel de l'alimentation. D'un autre côté, la perche est également décrite comme une opportuniste utilisant tout type d'aliment disponible (Craig, 1987).

4.4 Caractéristiques des habitats et besoins biologiques pour la reproduction et les premiers stades de vie de la brème commune (*Abramis brama* L.)

4.4.1 Maturité sexuelle de la brème commune

La maturité sexuelle chez la brème commune varie selon le sexe et les individus d'une population. Les femelles sont matures sexuellement aux environs des six ans tandis que chez les mâles, il faut attendre au minimum une année supplémentaire (Cowx, 1983). En moyenne, les brèmes ne sont pas matures avant l'âge de cinq ans (Kennedy & Fitzmaurice, 1968). Quand les conditions ne sont pas favorables, la croissance est retardée : la brème mature présente alors une taille plus petite et le poids des œufs diminue (Kuznetsov, 1973 ; Tsyplakov, 1969 ; Vasilchanko, 1970).

Chez les individus matures, le développement des organes sexuels commence à la fin de juillet et s'interrompt les mois d'hiver. Il s'accompagne d'une diminution du poids des tissus somatiques. Chez le mâle, ce poids est toujours plus élevé que chez la femelle ce qui est probablement lié au faible poids de leurs organes reproducteurs (Lammens, 1982). Les conditions de nourrissage influencent directement le développement des gonades et donc la maturité sexuelle des individus (Volodin, 1979).

4.4.2 Reproduction de la brème commune

a) Période et température de frai

La période de frai peut débuter en avril mais la brème se reproduit généralement entre mai et juin (Diamond, 1985 ; Philippart, 1989). Elle fraie à différentes températures selon le lieu (de 10°C jusqu'à 24°C). Généralement, la ponte débute quand la température de l'eau atteint environ 14°C (Herzig & Winkler, 1986; Hladik & Kubecka, 2004; Noges & Jarvet, 2005). Elle se poursuit avec des températures plus élevées (19-20°C). Quand la température baisse (en dessous de 20°C), les brèmes cessent de frayer et quittent les frayères. En fait, les populations de brèmes semblent s'adapter aux particularités de leur habitat d'où les variations constatées selon les lieux des études (Kokurewicz, 1971 ; Wiegand *et al.*, 1988).

b) Conditions du milieu

Les études sur le début du frai de la brème, dans des lacs et des rivières d'Estonie, ont permis de constater que la brème fraie plus tôt dans les années où les niveaux d'eau du printemps sont plus hauts (Noges & Jarvet, 2005).

En effet, elle adapte son comportement de frai au régime hydraulique du milieu. Néanmoins, il est important que le niveau d'eau augmente avant la période de frai afin de garantir le succès de reproduction (Probst, 2009).

Des conditions météorologiques défavorables peuvent nuire à la reproduction des brèmes. De plus, celles-ci sont déterminantes, au début de l'été, pour le développement des organes sexuels, la croissance des individus et les paramètres de l'habitat (Lammens, 1982).

c) Fécondité

La fécondité est moyenne (de 30 000 à 40 000 ovules par kilo de femelle). Kryzhanovskiy (1984) a montré l'influence de l'habitat sur la fécondité des femelles de brème. En effet, elle semble plus élevée au niveau de la vallée d'une rivière (207,4 milliers d'œufs) que dans la partie plus en amont (144,0 milliers d'œufs). D'autres études sur le lac Lacha en Russie ont permis de constater une fécondité moyenne des femelles (jusqu'à 4 kg) avec seulement 72,6 mille œufs (Pinus & Spivak, 1981). La fécondité des brèmes est très variable.

d) Comportement de reproduction

Les brèmes peuvent effectuer de vastes migrations vers les frayères dans certains grands fleuves continentaux. Dans les petites rivières et les eaux stagnantes, elles se réunissent sur le site un ou deux jours avant que le frai ait lieu. Ce sont des migrateurs holobiotiques.

Au niveau des frayères, les mâles présentent alors une activité territoriale (Fabricius, 1951) et peuvent également être agressifs (Poncin, 1996). Ils sont couverts de boutons nuptiaux, des points blancs sur la tête et le dos : ce sont des tubercules de frai. Ainsi, les mâles de grande taille (35-40 cm ; > 5 ans) présentant ces tubercules de frai défendent un territoire le long des berges, monopolisant de la sorte les substrats intéressants pour la ponte (herbiers, racines de saules et d'aulnes...). Les mâles plus petits (30 cm ; 3-4 ans) non tuberculés se tiennent entre 2 et 4 m du bord. Ils ne semblent pas défendre de territoires. Quelques individus tuberculés errant à la recherche d'un territoire sont parfois observés (Poncin, 1996).

Les femelles mûres se tiennent au large. Dès que l'une d'entre elles s'approche de la berge pour tenter de s'y accoupler, elle est d'abord poursuivie par les mâles non territoriaux avant de pénétrer dans la parcelle d'un mâle territorial. C'est chez ces derniers que la ponte peut avoir lieu.

Dans un grand fracas, les mâles et les femelles émettent leurs produits sexuels. Par de rapides mouvements d'agitation la femelle projette ses ovules sur la végétation. Ceux-ci sont immédiatement fécondés par ses partenaires (Poncin, 1996).

e) Caractéristiques des zones de frai

Le frai a lieu à proximité des côtes, dans des eaux peu profondes, inférieures à 0,5 m (Poncin *et al.*, 1996; Kafemann *et al.*, 1998; Hladik & Kubecka, 2004). Les substrats disponibles dans cette zone déterminent le succès de reproduction (Kozlovskij, 1991).

Les frayères sont constituées d'une végétation abondante dans des secteurs ombragés par la présence de grands arbres. Espèce phyto-lithophile, la brème pond dans les herbiers mais les œufs peuvent être déposés sur des supports minéraux (galets et graviers) en l'absence de macrophytes (Hladik & Kubecka, 2004).

Néanmoins, elle préfère les habitats présentant des macrophytes immergés qui poussent durant la saison de frai (Kafemann *et al.*, 1998; Gerstmeier & Romig, 2003). En effet, contrairement aux anciennes pousses de macrophytes colonisées par du périphyton, les nouvelles en sont dépourvues et offrent ainsi une meilleure adhérence pour les œufs (Dziekonska, 1956). La présence de périphyton sur les macrophytes peut entraîner un déplacement des œufs vers des profondeurs où la couverture est plus faible influençant directement leur survie (Probst *et al.*, 2009). En conséquence, une augmentation marquée du niveau d'eau juste avant le frai des brèmes peut leur permettre d'accéder aux substrats nus fraîchement inondés (Gafny *et al.*, 1992) et garantir ainsi le succès de reproduction.

4.4.3 Eclosion et développement

Les œufs, jaunâtres et collés au substrat, font généralement entre 0,9 et 1,5 mm de diamètre. Des études menées dans les rivières de Trent et Sow, en Grande-Bretagne, indiquent des diamètres compris entre 1,62 et 1,82 mm. Il s'agit des limites supérieures pour la taille des œufs (Barus & Oliva, 1995). L'incubation dure entre 3 et 4 jours à une température de 16-20°C (Poncin, 1996). Cette période d'incubation est un goulot d'étranglement pour les populations de brèmes (Probst *et al.*, 2009).

De mai à juin, une eau comprise entre 12 et 17°C correspond à la gamme de températures optimales pour le développement embryonnaire et larvaire (Herzig & Winkler, 1986; Kucharczyk, 1997).

De plus, des niveaux d'eau hauts assurent le bon développement des œufs. Cependant, les conditions hydrologiques et les facteurs climatiques n'ont pas d'incidence sur l'abondance des brèmes deux mois après l'éclosion (Probst *et al.*, 2009).

La température est l'un des facteurs environnementaux les plus importants affectant l'incubation des embryons, la survie et la croissance des larves (Kokurewicz, 1971). Les effets de la température sont souvent masqués par d'autres facteurs environnementaux comme la concentration en oxygène, la photopériode et la disponibilité de la nourriture. Cependant, les faibles températures ne sont pas létales pour les œufs et les larves. Des études (Kucharczyk, 1997) sur le lac Kortowski, en Pologne, ont montré qu'à :

- 13,2°C, le taux de survie des œufs est supérieur à 60 % ;
- 13,5°C, la survie des larves est de 90 %.

Ainsi, la capacité d'une espèce à occuper un vaste territoire géographique dépend de sa capacité à s'adapter à la variabilité des conditions environnementales (Kokurewicz, 1971). La capacité d'adaptation thermique des embryons et des larves est donc importante pour leur survie comme la température de l'eau peut varier au cours de la période de développement. La gamme de températures optimales pour le développement des embryons et des larves peut ainsi différer d'un habitat à un autre étant donné l'effet de la température sur les besoins alimentaires et sur l'efficacité d'ingestion et d'assimilation de la nourriture. Cette gamme est généralement corrélée aux températures de frai. La croissance des larves est optimale, en condition stable, quand la température de l'eau se situe aux alentours des 28°C (Kucharczyk, 1997). Les variations annuelles de température de l'eau peuvent causer des différences de croissance entre les années pour un même site (Mills & Mann, 1985).

Les larves, d'environ 4 mm et munies d'une vésicule, se fixent aux plantes et restent immobiles. Une fois la vésicule vitelline résorbée, les juvéniles se déplacent en petits bancs et se nourrissent de plancton animal et végétal. La croissance est lente et la maturité sexuelle n'est atteinte que quand l'individu a atteint une taille de 20 cm. Pendant cette période, les alevins subissent une très forte prédation (Muus & Dahlström, 2003).

La croissance des brèmes est directement influencée par différents facteurs biotiques et abiotiques. Selon les propriétés de l'habitat, la densité des populations se stabilise à un certain

niveau. Ainsi, une profondeur et une transparence faibles sont favorables au développement de stocks denses de brèmes (Willemsen, 1980 ; Cazemier, 1982) et une alcalinité importante entraîne une croissance rapide des individus (Kennedy & Fitzmaurice, 1968 ; Cazemier, 1982).

Globalement, la brème présente une croissance lente, bien que le taux de croissance varie considérablement d'un endroit à un autre. Ainsi, dans les hauts-fonds de lacs eutrophisés, elle peut ne peser que 0,5 kg à 15 ans, alors que dans des conditions plus favorables, elle peut atteindre jusqu'à 1,5-2 kg au même stade.

En fait, le taux de croissance des brèmes dépend directement des conditions alimentaires du milieu et est en grande partie conditionné par la disponibilité relative du zooplancton (Cazemier, 1982). Si le stock de chironomidés (diptères) est supérieur à 20 g par mètre carré, la croissance de la brème est très bonne. Dans ces conditions, elle atteint le poids d'un kilogramme au bout de 9 ans. Dans les eaux où le taux de croissance est moyen (par exemple 0,5 kg au bout de 9 ans), la biomasse en chironomidés s'élève de 5 à 20 g par mètre carré. Une faible croissance (0,2 kg au bout de 9 ans) est associée à un stock de chironomidés de moins de 5 g par mètre carré. Ainsi, il existe une relation étroite entre les réserves de nourriture et la croissance des brèmes (Cazemier, 1975 ; Lammens, 1982). La disponibilité de la nourriture est un facteur important et déterminant.

En résumé, les facteurs favorisant la croissance de la brème semblent être une forte alcalinité des eaux, la présence d'habitat favorable (herbiers, racines d'arbres, ombrage), un fond vaseux vaste avec une profondeur de 1 à 6 m et une abondance d'invertébrés, de mollusques, de trichoptères, de gammaridés et de chironomidés (Tierney *et al.*, 1999).

4.4.4 Caractéristiques de l'habitat des adultes

Espèce limnophile, la brème vit dans les eaux calmes des cours d'eau ou dans les eaux stagnantes. Ainsi, elle préfère les eaux chaudes à écoulement lent ou stagnantes et ses habitats typiques sont les grandes rivières de plaine. Elle fréquente également les eaux saumâtres en Hollande, en Allemagne et dans la mer Baltique. A proximité des côtes en été, la brème privilégie les eaux plus profondes en hiver. Elle est toujours grégaire.

Zooplanctonophage chez les alevins, le régime alimentaire de la brème adulte est benthophage. Le changement de régime alimentaire ne peut pas se faire brutalement. En fait, le ratio des organismes macrobenthiques dans les aliments augmente en parallèle avec l'augmentation de la taille du corps de la brème. Chez l'adulte (pour un poids compris entre

125 et 434 g), la nourriture est constituée à 95 % d'invertébrés, les 5 % restant correspondant à des aliments végétaux. Elle se compose à 60 % de larves de chironomes et à 40 % d'autres groupes (Oligochètes, Ephémères, Odonates, Mollusques, Crustacés, détritus et algues). Le ratio de zooplancton dans les aliments n'est que de 8 %. Au cours de la période d'hivernage, la brème se nourrit principalement d'invertébrés benthiques (Biro *et al.*, 1991). Les grands spécimens peuvent manger des petits poissons (Muus & Dahlström, 2003).

Le gardon et la brème sont des concurrents potentiels lorsqu'ils partagent les mêmes eaux (Kennedy & Fitzmaurice, 1968). La brème peut également être en compétition alimentaire avec les carpes qui fréquentent les mêmes habitats.

La concentration de brèmes dans les masses d'eau naturelles est le résultat de la présence d'habitats où les conditions alimentaires sont les plus favorables (Gerasimov & Linnik, 1993).

D'après P'yanov (1992), ces agrégations ont une structure basée sur les relations hiérarchiques entre les individus selon les différentes conditions du biotope : certains individus occupent les meilleurs sites d'alimentation tandis que d'autres sont déplacés vers la périphérie.

Ainsi, sous certaines conditions, les brèmes présentent une ségrégation spatiale intraspécifique. Cela permet aux populations d'utiliser efficacement les ressources alimentaires sur différents secteurs (zone littorale, zone pélagique et zone benthique) et de coloniser complètement dans l'espace et le temps les niches disponibles. Néanmoins, la différenciation spatiale au niveau des populations de brème est périodique puisqu'elle dépend de l'activité hydrodynamique des eaux superficielles (Gerasimov, 2007).

5 UTILISATION DE STRUCTURES ARTIFICIELLES POUR FAVORISER LA PONTE DES POISSONS PHYTOPHILES

Les frayères artificielles sont des structures mises en place pour favoriser la reproduction des poissons. Elles peuvent être notamment employées afin de remédier au manque de substrat naturel de ponte pour les espèces phytophiles évoluant dans des plans d'eau soumis à un marnage important.

Les frayères artificielles pour espèces phytophiles peuvent être classées suivant leur mode d'attachement : les frayères fixes et les frayères flottantes.

5.1 Les différents types de structures

5.1.1 Frayères fixes

Les frayères fixes sont des dispositifs qui sont placés, par exemple, le long de berges très urbanisées des canaux (Figure 8). Ce type de frayères ne peut être efficace que dans des milieux à niveau d'eau constant ou lorsque de faibles variations de niveau d'eau sont observées. Dès lors, elles ne sont pas recommandées en situation de marnage.

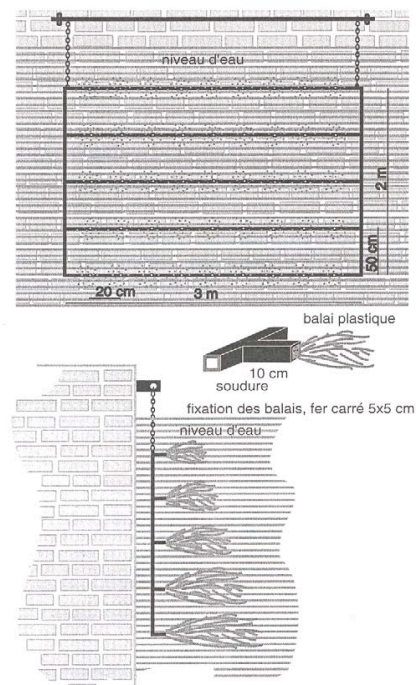


Figure 8 : Frayères artificielles fixes (Luchetta, 1991).

5.1.2 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. Différents types de structures ont été proposées par Gillet (1989) dans le cadre d'études consacrées à la mise en place de frayères artificielles relatives à la reproduction des poissons phytophiles. La base de ces structures 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 ce qui, grâce à des mouvements limités n'occasionne pas d'emmêlages (Figure 9), ou être maintenues en place par des cordes et des poids (Figure 10). Dans ces cas, des bouées assurent la flottaison de l'ensemble des dispositifs, ce type de dispositif pouvant être déplacé en fonction des changements éventuels du milieu.

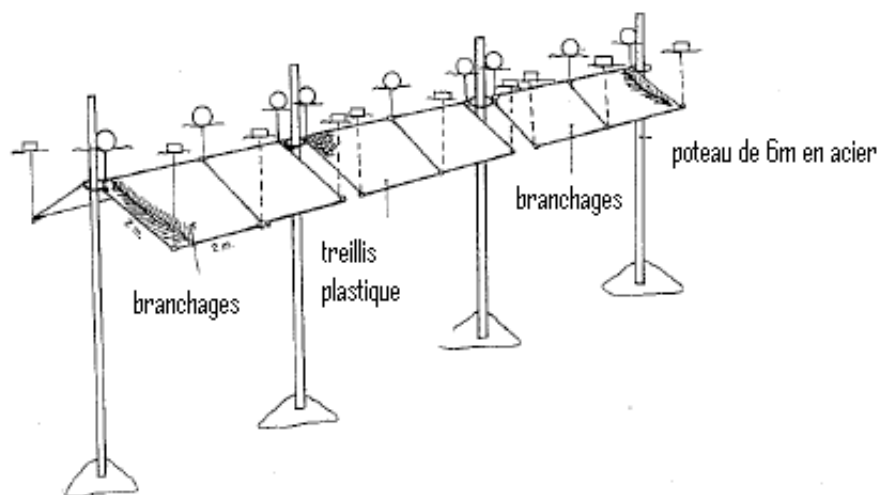


Figure 9 : Frayères flottantes amarrées à un poteau fixe

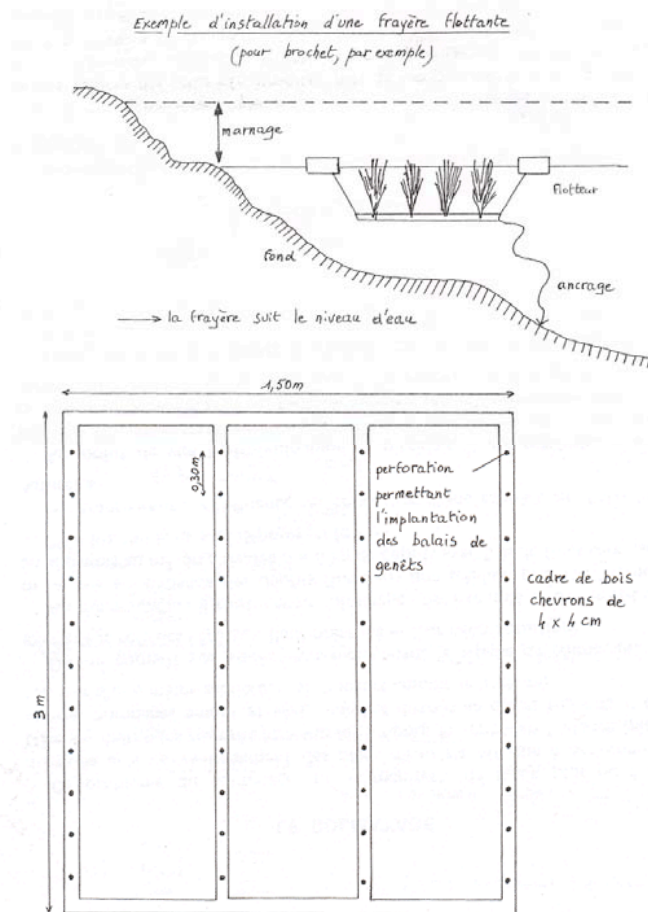


Figure 10 : Frayère artificielle flottante (Luchetta in Leroy, 1983)

5.2 Les substrats

5.2.1 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 (1989) et Gillet et Dubois (1995), il est important que le substrat forme un réseau dense afin de retenir les œufs tout en étant également 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 ces auteurs, 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.

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 (1989) 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, 1989 ; Herman, 1993 ; Gillet & 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 frai, 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.

Il est à noter que 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, 1989 ; Cazin, 1994) que sur de l'épicéa synthétique blanc (brème) (Herman, 1993).

Enfin, 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 le frai a néanmoins lieu (Gillet, 1989).

5.2.2 Utilisation

Quelques expériences utilisant les frayères artificielles comme substrat de pontes de poissons phytophiles ont été menées en zones tempérées. Ainsi, Gillet (1989) a mis au point des frayères artificielles flottantes dont certains modèles se sont révélés attractifs pour l'ensemble des poissons lacustres à reproduction printanière (brochet, perche et cyprinidés). Tous ces poissons ont accepté de venir frayer sur des substrats artificiels flottants, même lorsque ceux-ci étaient amarrés à une certaine distance du rivage. L'auteur souligne également que bien que la plupart de ces poissons soient assez éclectiques vis-à-vis de la nature du substrat qui recueille leurs œufs, ils présentent des exigences très strictes en ce qui concerne sa forme et sa profondeur d'immersion. Il convient dès lors de respecter ces exigences pour chaque espèce ciblée. 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. De leur côté, Gillet & Dubois (1995), ont étudié le développement du frai chez la perche, le brochet et le gardon dans le lac de Genève en utilisant des frayères artificielles placées à différentes profondeurs entre 1984 et 1993. Ces auteurs ont testé différents substrats comme des branches de conifères issues de diverses essences et des treillis de plastique. Les résultats de leur étude montrent que les frayères artificielles peuvent être une technique intéressante pour le recueil de données relatives à la période, la durée et la localisation du frai de plusieurs espèces de poissons lacustres. Plus récemment en Italie, Pedicillo *et al.* (2008) ont mis en place un programme expérimental ayant pour but de favoriser la reproduction des perches dans le lac de Piediluco. Ce dernier, de par sa vocation de production d'hydroélectricité, est soumis à une gestion particulière qui, couplée à des conditions eutrophes de l'eau, engendre un impact négatif sur les populations de poissons, et particulièrement la perche fluviatile. Dès lors, dans l'objectif

d'accroître la reproduction naturelle de cette espèce, des frayères artificielles consistant en fagots de broussailles fixés sur un cadre métallique ont été déployés sur le pourtour du lac à une profondeur comprise entre 2 et 3,8m. Les résultats obtenus entre 1997 et 2003 montrent l'efficacité des substrats artificiels comme substrat de ponte approprié pour la reproduction de la perche.

6 MISE EN PLACE ET SUIVI DES FRAYÈRES ARTIFICIELLES SUR LES LACS DE LA PLATE TAILLE ET DE L'EAU D'HEURE

6.1 Rappel des objectifs

Lorsque la convention fut signée en 2007, l'objectif de ce travail était d'assurer la mise en place et le suivi d'un substrat de ponte alternatif, sous la forme de frayères artificielles flottantes à destination des espèces piscicoles phytophiles notamment sur le lac de la Plate Taille. En effet, les fluctuations de niveaux d'eau découlant du marnage ne permettent pas l'installation durable d'une végétation rivulaire qui sert normalement de support naturel de ponte pour ces espèces. D'autre part, lorsque des pontes surviennent, le marnage provoque la mise à sec et la mort des œufs. De plus, depuis plusieurs années, une diminution des captures de juvéniles de brochet avait été observée. C'est dans cette optique que s'inscrivait le projet débuté en 2007. En 2008, suite à l'observation de pontes de gardons l'année précédente, l'objectif principal était de pouvoir observer des pontes de brochets sur ces frayères afin de valider l'utilisation de ces structures par cette espèce et d'en pérenniser l'utilisation comme un moyen efficace de favoriser la reproduction naturelle en réponse aux variations de niveau des lacs.

Suite à la signature d'une nouvelle convention en 2009, le projet a été poursuivi. Dès lors, à la suite des recommandations avancées les années précédentes, une nouvelle thématique a été abordée en plus du suivi scientifique des frayères artificielles flottantes. En effet, les reproductions des espèces ciblées étant assurées, l'attention a été portée sur le devenir des larves et des juvéniles post-éclosion. Le marnage empêchant le développement de la végétation rivulaire, il existe un déficit en milieu de vie propice à leur développement, notamment comme abri face aux prédateurs. Dès lors, le projet visait à installer des radeaux végétalisés à proximité des frayères artificielles flottantes. Ces radeaux plantés de macrophytes dont le système racinaire se développe dans l'eau offraient, a priori, un milieu propice au développement des larves. Enfin, un dernier objectif était de caractériser la végétation rivulaire déjà présente sur le site du lac de la Plate Taille afin de proposer une végétalisation des rives et des zones découvertes par le marnage et d'accroître la diversité des habitats pour les espèces de poissons.

6.2 Frayères artificielles flottantes

6.2.1 Choix du matériel

Les frayères utilisées lors de ce projet sont de type « SOVB » en fibres synthétiques vertes de polypropylène. Ce type de fibre a l'avantage d'éviter la propagation des maladies. La structure est composée d'un ou deux cadres métalliques de 2 x 1m chacun contenant 15 lattes transversales sur lesquelles sont insérés les épis de fibres synthétiques (L : 15 cm ; Ø : 0.3 mm) (Figure 11). Les cadres sont fixés deux par deux pour constituer les « trains » de frayères qui seront mis à l'eau (Figures 12 et 13).



Figure 11 : module avant assemblage (2m²)



Figure 12 : deux modules assemblés qui constituent l'unité du train de frayère (4m²)



Figure 13 : mise en place d'un "train" de frayères

Pour suivre au mieux les variations du niveau d'eau en se maintenant à un même emplacement, un système de bouées et de lest assure la bonne tenue de l'ensemble. Ce sont ainsi 60 m² de frayères artificielles flottantes qui ont été installées en février 2009. De plus, comme proposé par Nemry *et al.* dans le rapport de 2007, des améliorations ont été apportées aux structures : une couche d'Enkamat ® a été ajoutée sous les frayères. Se présentant sous la forme d'une natte géosynthétique en polyamide à structure tridimensionnelle, elle permettrait

d'augmenter le taux de survie des œufs et donc la densité d'œufs viables présents sur la frayère (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). Le but de cet ajout est de retenir les œufs qui pourraient se décrocher lors de la manipulation des frayères mais aussi lors de l'action des vagues générées par le vent et le passage des bateaux. Une double couche d'Enkamat® a donc été apposée sous certaines frayères, dans un souci de comparaison avec les autres frayères dépourvues de cette double couche.



Figure 14 : Enkamat®, structure tridimensionnelle en polyamide

6.2.2 Choix des emplacements

Le schéma d'implantation des frayères artificielles flottantes pour l'année 2009 a suivi celui adopté l'année précédente. Ce schéma est basé sur la présence de végétaux immergés et les vitesses de colmatage du substrat de ponte observées tout au long de l'expérience menée par Nemry *et al.* (2007) dans différents endroits du lac de la Plate Taille.

En 2008, les sites avaient été choisis sur base de critères a priori favorables à la ponte du brochet : profondeur des fonds, végétation à proximité, vitesse de colmatage du substrat... Au final, les quatre sites sélectionnés en 2008 ont été conservés et deux sites supplémentaires ont été retenus. Le schéma d'installation est le suivant : deux frayères dans la anse de la Fontaine aux Planes (une frayère de 16m² et une frayère de 8m²), deux dans le fond de l'anse à proximité du centre ADEPS "Le Cierneau" (deux frayères de 8m² chacune), une dans l'anse "Oupia" (8m²) et enfin une dans la Crique des Cabiniers (12m²). Cette disposition est reprise sur la photographie aérienne de la figure 15.

L'ensemble des frayères artificielles flottantes a été mis en place le 23 février 2009. A ce moment, la température de l'eau était de 3°C et le niveau du lac (250 m) était proche de sa cote maximale (250,1 m). La ponte du brochet n'intervenant généralement pas dans des eaux en-dessous de 8°C, la mise en place des frayères à ce moment de l'année offrait la garantie qu'aucune ponte de brochet n'avait encore eu lieu.

Lors de l'installation, un des bateaux mis gracieusement à disposition par l'ADPPLEH, était muni d'un échosondeur. Cette opportunité a permis de disposer au mieux les frayères aux

endroits choisis. Dans un souci de commodité, les frayères ont d'abord été assemblées au sol avant d'être glissées dans l'eau pour finalement être tractées jusqu'à l'emplacement présentant la profondeur idéale. Relativement lourd et encombrant, ce type de frayère nécessite l'emploi de quatre bouées pour être maintenue en place. De plus, un poids est fixé aux deux extrémités. Ces poids jouent un double rôle : ils maintiennent l'ensemble du dispositif en place et assurent une tension qui empêche les frayères de s'emmêler.

Les sites sont tous situés entre 10 et 15 m du bord et présentent un relief de type "plat" à une profondeur de 2,5 à 3,5 m. Cette profondeur minimale est importante pour garantir que les frayères restent immergées même en période de marnage important.



Figure 15 : Toponymie des anses et localisation des frayères artificielles flottantes sur le lac de la Plate Taille

6.3 Radeaux végétalisés

6.3.1 Montage et installation

Les frayères artificielles ayant montré leur efficacité, la Maison wallonne de la pêche s'est penchée sur la question de l'amélioration du milieu de vie des larves post-éclosion. C'est dans cette optique que près de 80 m² (4 x 20m²) de radeaux végétalisés ont été installés sur le lac de la Plate Taille. Les racines se développant simultanément constituent un milieu de protection idéal pour les larves de poisson. Produites par la firme Aquaterra Solutions, ces îles flottantes

sont constituées de structures modulaires (2 m x 1 m) en polyéthylène basse densité recyclé et recyclable (Figure 16). Des mousses intégrées dans les modules assurent la flottaison. Les végétaux palustres et héliophytes, puisant leurs ressources uniquement dans l'eau, sont implantés dans une natte en fibres de coco suffisamment lâche pour permettre le développement du système racinaire. L'ensemble est ancré au fond par l'intermédiaire de lests en béton. Des filets anti-cormorans sur une profondeur de 50 cm et des grilles en métal pour protéger les plantules des canards ont également été apposés (Figure 17).

Les emplacements des îles ont été choisis en fonction de celui des frayères artificielles flottantes déjà en place, à raison de une par anse. Le montage a chaque fois été réalisé sur la berge, l'ensemble étant alors tracté par bateau (Figure 18). Le lieu choisi devait présenter une profondeur minimale de 2,5 m, supérieure à la valeur maximale du marnage.



Figure 16 : assemblage d'une île flottante



Figure 17 : radeau assemblé avec filet anti-cormoran et grille anti-canard



Figure 18 : radeau tracté jusqu'à l'emplacement désigné

6.3.2 Espèces végétales utilisées

La firme Aquaterra dispose de plusieurs configurations types de plantations des géonattes végétalisées. Le choix de celles-ci se fait en fonction du lieu d'implantation des radeaux et des caractéristiques du site (vitesse du courant, éclaircissement...).

Dans le cas du lac de la Plate Taille, une combinaison d'espèces adaptées à un faible courant et résistantes au piétinement par les canards a été choisie. Le schéma suivant (Figure 19) reprend la disposition et la proportion des plantes de deux géonattes. Ces derniers présentent des dimensions standard de 5 m de longueur et 1 m de largeur, avec une densité de 18/20 plantes/m².

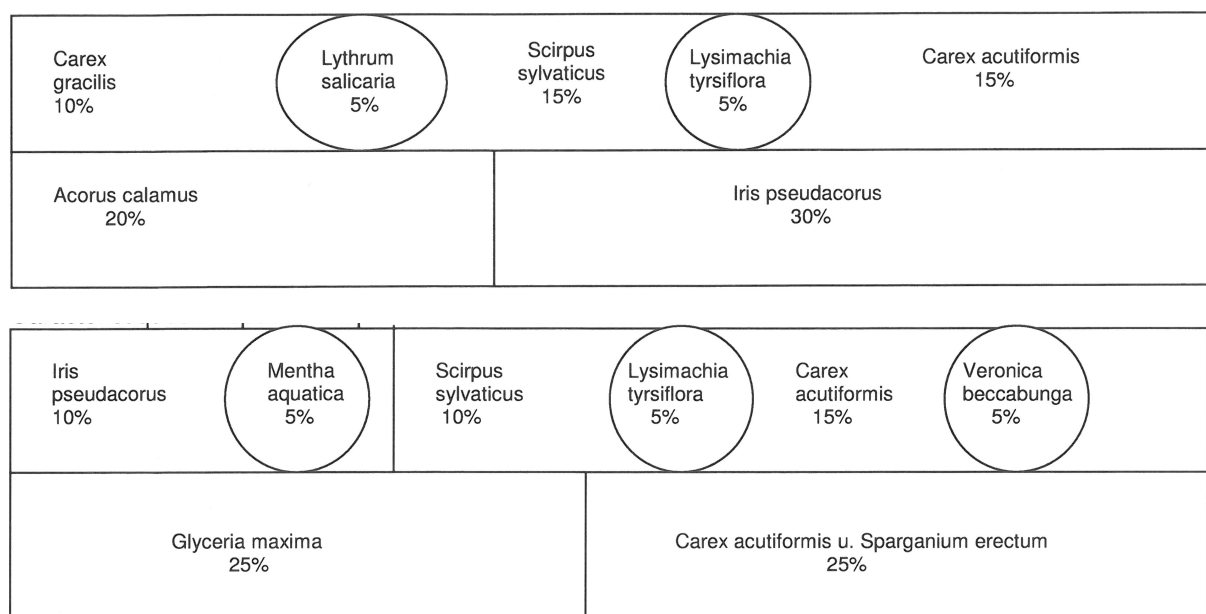


Figure 19 : Schéma des configurations types de plantations utilisées pour les radeaux végétalisés

6.4 Suivi

6.4.1 Actions menées sur le lac

a) Observation et entretien des frayères

Lors des visites hebdomadaires effectuées sur le lac de la Plate Taille, les frayères artificielles étaient inspectées pour détecter la présence de pontes. En cas de pontes, le nombre total d'œufs était extrapolé à la frayère au départ de la quantité présente sur un échantillon. Quelques œufs étaient alors ramenés dans les locaux de la Maison wallonne de la pêche et mis à incuber. Lorsque les larves ont éclos, l'espèce à laquelle elles appartenaient ont été

déterminée au moyen de l'ouvrage d'Adrian Pinder (2001) offrant une clé de détermination pour larves et les juvéniles des poissons d'eau douce.

Avant cette opération, l'importance du colmatage, variant d'un emplacement à un autre, était estimée au moyen de l'échelle de colmatage élaborée par Nemry *et al.* (2007) (tableau 9).

Tableau 9 : échelle de colmatage employée durant le projet (Nemry *et al.*, 2007)

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 »	généralisée à toute la frayère, la structure du substrat est toujours clairement visible, sa couleur est modifiée (brun-vert)
3	« colmatage »	généralisée à toute la frayère, la structure du substrat est entièrement recouverte et plus difficile à distinguer
4	« colmatage fort »	généralisée à toute la frayère, la structure du substrat est totalement recouverte et à peine visible

Lorsque la présence d'œufs n'était pas avérée, les frayères étaient nettoyées à l'aide d'une brosse. Il est nécessaire de faire une surveillance régulière du colmatage car celui-ci peut empêcher les pontes et augmenter la mortalité des œufs et des alevins. Les frayères développent du périphyton et des algues qui, ajoutés aux sédiments, provoquent le colmatage.

b) Analyse d'eau

Concomitamment aux actions entreprises sur les frayères artificielles, des mesures des paramètres physico-chimiques de l'eau ont été réalisées hebdomadairement sur chaque frayère. La température, l'oxygène dissous, le pH et la turbidité ont été mesurés sur place tandis que des échantillons d'eau ont été pris pour mesurer au retour les taux de nitrates, de phosphates, de nitrites et d'ammoniac. Toutes ces données ont été encodées et un journal des sorties a été tenu durant toute la durée du projet. Dans ce dernier, en plus des valeurs de colmatage, d'autres observations inhabituelles ou intéressantes ont été consignées.

6.5 Résultats

6.5.1 Journal des sorties

Les paragraphes suivants résument les principales actions et observations effectuées lors du suivi des équipements installés sur le lac de la Plate Taille pour améliorer l'efficacité de la reproduction des espèces phytophiles.

- **23 février 2009**

Il s'agit de la première visite sur le lac de la Plate Taille pour installer des frayères artificielles. Avant la mise à l'eau, les frayères sont fixées deux par deux (2 x 2m²).

- **30 avril 2009**

Température moyenne de l'eau : 11°C

Lors de cette visite de terrain, pour la première fois, on constate la présence d'œufs de brochets sur les frayères artificielles n° 3, 4, 5 et 6 installées respectivement dans la anse derrière l'ADEPS (frayères n° 3 & 4), la anse de Oupia (frayère n° 5) et la crique des cabiniers (frayère n° 6). Des échantillons d'œufs ont été prélevés et ont éclos 3 jours plus tard.

Des rotengles ont été aperçus sur les frayères 3, 4 et 6, lors de notre arrivée.

Une perche, en train de pondre, était aussi présente sur la frayère n° 6 (crique des cabiniers). Le moment était propice à la reproduction des perches. De nombreuses pontes ont été observées sur la végétation des berges.

On constate un décalage dans le temps pour le dépôt des premières pontes par rapport aux années précédentes. Chaque année, les pontes ont lieu plus tard dans la saison. En 2007, des œufs ont été observés à partir du 19 avril et en 2008, à partir du 25 avril.

- **7 mai 2009**

Température moyenne de l'eau : 12°C

Comme pour la semaine précédente, les frayères 1 et 2 sont dépourvues d'œufs. Sur les autres frayères (3, 4, 5 et 6), la quantité d'œufs était devenue minime par rapport aux observations du 30 avril. Les œufs de brochets étaient probablement éclos (changement d'apparence la couleur passe du jaune au blanc).

Sur la frayère n° 6, on observe une ponte de perche (perche en train de pondre observée le 30 avril).

Un sandre présent sur la frayère n° 6 a été observé et filmé durant plus de 5 min.

- **4 juin 2009**

Température moyenne de l'eau : 16,5 °C

L'ensemble des frayères est dépourvu d'œufs. Le colmatage est important malgré le nettoyage effectué la semaine précédente (28 mai 2009). Toutes les frayères sont donc brossées.

Au niveau de la frayère n° 1 (anse de la Fontaine aux Planes), de nombreuses brèmes fraient le long des berges. On constate que la végétation des bords de berges est remplie d'œufs de brèmes et certains sont déjà exondés. Dans une moindre mesure, des frais de brèmes sont également observés sur les berges à hauteur de la frayère n° 5 (anse de Oupia).

Sur la frayère n° 3, une perche est présente à l'arrivée sur le site mais également après nettoyage, lors d'un second passage.

Sur la frayère n° 5, un rotengle est aperçu au moment de l'approche.

- **11 juin 2009**

Température moyenne de l'eau : 15°C

La frayère n° 2 est recouverte d'œufs (environ 110 œufs par bouquet de fibres). Un échantillon de ces œufs est prélevé afin de déterminer l'espèce après éclosion et de calculer le taux d'éclosion. Il s'agit de la seule frayère pourvue d'œufs.

Globalement, les frayères sont moins colmatées que la semaine dernière. Il semblerait que les poissons aient nettoyé le substrat avant le frai. Cette hypothèse sera analysée.

Sur la frayère n° 1, plusieurs brochetons sont observés et sur la frayère n° 3, une perche morte est découverte.

Le 12 juin, plusieurs œufs ont éclos. Il s'agit de larves de gardons.

- **18 juin 2009**

Température moyenne de l'eau : 17°C

La frayère n° 2 ne présente plus d'œufs et le colmatage est important. Des larves supposées de gardons sont prélevées à hauteur de la frayère.

Au niveau de la frayère n° 5, le substrat semble nettoyé à certains endroits témoignant du passage probable de poissons.

- **24 juin 2009**

Température moyenne de l'eau : 18°C

Au niveau de la frayère n° 1, des larves et des juvéniles sont observés et au niveau de la frayère n° 2, des larves sont présentes. Deux larves sont prélevées pour une identification ultérieure. Il s'agit vraisemblablement de larves de brèmes. On peut néanmoins supposer que d'autres espèces se trouvaient au niveau de la frayère.

L'eau présente une coloration particulière à certains endroits du lac et notamment au niveau de la anse de la Fontaine aux Planes où plusieurs poissons morts sont observés. On peut supposer qu'une pollution ponctuelle liée aux pratiques agricoles des alentours soit à l'origine de ces observations.

- **1 juillet 2009**

Implantation des radeaux végétalisés dans les anses abritant des frayères artificielles.

- **2 juillet 2009**

Température moyenne de l'eau : 22°C

Au niveau des frayères n° 4, 5 et 6, des bancs de larves et des juvéniles sont observés. Plusieurs juvéniles de perches sont présents sur les frayères 4 et 6.

- **9 juillet 2009**

Température moyenne de l'eau : 19°C

L'ensemble des frayères est dépourvu d'œufs. Globalement, le colmatage est faible.

- **16 juillet 2009**

Température moyenne de l'eau : 20°C

Au niveau de la frayère n° 1, un herbier aquatique important s'est développé à proximité et sous la frayère d'où la présence d'hydrophyte entre les lattes portant les fibres synthétiques. Un prélèvement est effectué afin de déterminer l'espèce. Des algues filamenteuses se sont également développées sur la frayère.

Au niveau de la frayère n° 2, l'Enkamat ®, destiné à récupérer les œufs qui se décolleraient des fibres, est totalement colmaté notamment par de nombreuses algues filamenteuses.

Au niveau de la frayère n° 3 et 4, de nombreux juvéniles sont observés sur les substrats de la frayère. De nombreux œufs de trichoptères sont également présents sur les deux frayères.

- **23 juillet 2009**

Température moyenne de l'eau : 20°C

Des algues filamenteuses se développent sur la plupart des frayères. Elles ne sont pas réellement accrochées au substrat mais simplement posées dessus.

Au niveau de la frayère n° 1, les potamots à feuilles pectinées (*Potamogeton pectinatus*) sont toujours présents entre les lattes de la frayère.

- **30 juillet 2009**

Température moyenne de l'eau : 19,5°C

Sur la majorité des frayères, le colmatage est élevé avec un dépôt important d'algues filamenteuses sur le substrat.

Au niveau de la frayère n° 1, les potamots à feuilles pectinées (*Potamogeton pectinatus*) sont toujours présents entre les lattes de la frayère.

- **6 août 2009**

Température moyenne de l'eau : 21°C

Au niveau de la frayère n°1, les potamots à feuilles pectinées (*Potamogeton pectinatus*) sont toujours présents entre les lattes de la frayère.

Des alevins de perches sont retrouvés morts au niveau des frayères n° 1, 4 et 5, pris au piège dans les algues filamenteuses.

6.5.2 Observations des pontes

a) Brochet (*Esox lucius*)

Comme mentionné dans le journal des sorties, les premiers œufs ont été observés le 30 avril 2009. Ceux-ci se présentent sous la forme de petites sphères de 2 à 3 mm de diamètre de couleur jaunâtre et sont localisés différemment sur les épis de fibres synthétiques (Figure 20 et 21).

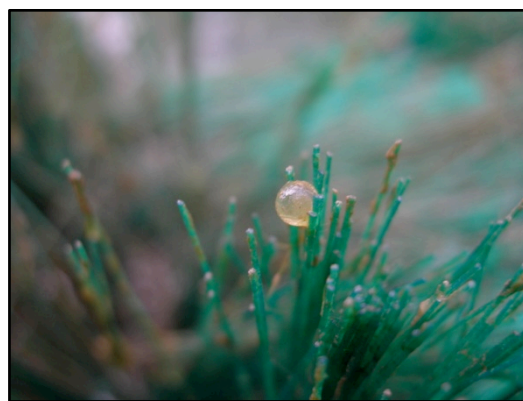


Figure 20 et Figure 21 : œufs de brochet fixés sur les épis de fibre synthétique le 30 avril 2009

Un échantillon a été prélevé pour l'identification ultérieure de l'espèce dans les bureaux de la Maison wallonne de la pêche. A cette fin, les œufs ont été mis à incuber et après

quelques jours, des larves (Figure 22) ont éclos. Pendant cette opération, un petit diffuseur d'aquarium assurait l'oxygénation des œufs, vitale à leur développement.



Figure 22 : Larves écloses après incubation à la Maison wallonne de la pêche

Trois critères ont permis d'identifier le brochet (*Esox lucius*) avec certitude :

- Longueur de la larve juste après émergence proche de 1 mm ;
- Ratio « longueur totale – queue » égal à 0,42 (la norme mentionne un ratio compris entre 0,41 et 0,48 » ;
- Pigmentation de la partie dorsale de la larve.

Pour illustrer le deuxième critère, la figure 23 met en évidence les deux éléments qui interviennent dans la mesure du ratio dont il est question dans le paragraphe ci-dessus. L'élément « a » correspond à la longueur totale de la larve, juste après émergence, et l'élément « b » correspond à la longueur de sa queue. A l'aide du binoculaire et de la résolution des objectifs, les valeurs des longueurs a et b, qui correspondent respectivement à 0,90 mm et 0,38 mm, ont été déterminées. In fine, le rapport de ces deux éléments donne un ratio de 0,42 valeur qui correspond bien à la norme fixée pour l'espèce *Esox lucius*. De même, l'observation des larves une semaine plus tard, a permis de confirmer à nouveau l'hypothèse.

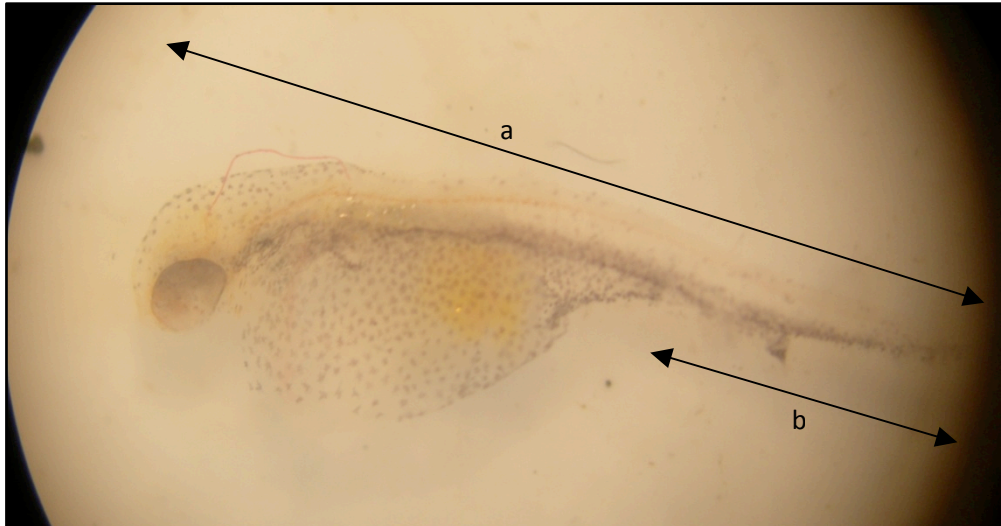


Figure 23 : Observation au binoculaire et mesure du ration "longueur totale - queue"

b) Perche (*Perca fluviatilis*)

A la même date que l'observation des premiers œufs de brochets, une ponte de perche a été relevée sur une des frayères. Bien que les perches utilisent préférentiellement des supports de végétaux morts autour desquels elles peuvent facilement enrouler leurs rubans d'œufs, il est étonnant de constater qu'elles utilisent également les frayères artificielles flottantes. Cependant, cette ponte doit être considérée comme anecdotique dans la mesure où le substrat du lac de la Plate Taille est parsemé de squelettes végétaux propices à la reproduction des perches.

c) Gardon (*Rutilus rutilus*)

Comme en 2007, des pontes de gardons ont été observées, dans des proportions plus modestes cependant. En effet, seule une frayère, située dans la anse de la Fontaine aux Planes, a accueilli une ponte (Figure 24). Comme pour les œufs de brochets, un échantillon a été prélevé et mis à incuber dès l'arrivée dans les bureaux de la Maison wallonne de la pêche. Les premières larves ont été observées après trois jours (Figure 25). Une première identification au départ des larves toujours pourvues de leur sac vitellin a été réalisée, amenant à la détermination du gardon. Les larves ayant pu être gardées vivantes pendant quelques jours encore, une nouvelle identification utilisant des individus à la réserve vitelline résorbée a pu être menée, conduisant à la même conclusion. Le nombre d'œufs obtenus (estimé à 95 000) semble indiquer qu'une seule femelle a utilisé les structures. En effet, la littérature renseigne un nombre d'œufs compris entre 150 000 et 200 000 œufs par ponte et par femelle (Bruslé et Quignard, 2001). Ce succès relatif est à mettre en parallèle avec les niveaux d'eau atteints

pendant la période de ponte. En effet, la semaine où le frai de gardon est intervenue, les niveaux d'eau étaient proches de leur cote maximale. En conséquence, l'ensemble des anses où la végétation aquatique susceptible d'accueillir des pontes est bien présente, étaient sous eaux. Les substrats de ponte étaient abondants, ce qui peut expliquer une moindre utilisation des frayères artificielles flottantes par les gardons.



Figure 24 : Oeufs de gardon accrochés aux fibres synthétiques



Figure 25 : Larves écloses à la Maison wallonne de la pêche

d) Brème (*Abramis brama*)

Bien que cette espèce n'ait pas utilisé les frayères artificielles, leur reproduction a été observée le 4 juin 2009. Celle-ci a eu lieu principalement au niveau des jonchaies de la anse de la Fontaine aux Planes et dans une moindre mesure dans la Crique des Cabiniers (Figure 26). Les femelles semblaient garder un poste défini au préalable tandis que les mâles se présentaient successivement à elles. Lorsque la femelle avait choisi son mâle, le frai avait lieu. Les joncs se sont recouverts ainsi de millions d'œufs pendant la matinée durant laquelle la reproduction de cette espèce a été vue. Cependant, la majorité de ceux-ci s'est retrouvé hors de l'eau en milieu de l'après-midi, conséquence directe du marnage. A la lecture des niveaux d'eau observés ce jour-là, il apparaît qu'à 10 h, la cote était de 249,79 m alors qu'elle était descendue à 249,04 m à 16 h, soit une différence de 75 cm, bien au-delà de la profondeur de 50 cm renseignée dans la littérature comme maximale pour le frai de la brème (Poncin *et al.*, 1996). Ceci explique la mise à sec d'une grande majorité des œufs posés sur les joncs.



Figure 26 : Localisation du frai de brèmes observé le 4 juin 2009 dans le lac de la Plate Taille

e) Synthèse

Le tableau suivant récapitulatif de l'abondance des pontes enregistrées sur les frayères pour l'année 2009, à partir d'une estimation de la densité des œufs, méthode arbitraire décrite dans le rapport de Nemry *et al.*

Frayères	1	2	3	4	5	6
Superficie (m ²)	16	8	8	8	12	12

Frayères/ Densité des Œufs	DATES		
	30/04/2009	7/05/2009	11/06/2009
Fontaine aux Planes (1x4) 1	0	0	0
Fontaine aux Planes (1x2) 2	0	0	+++
ADEPS (1x2) 3	+++	+	0
ADEPS (1x2) 4	+++	+	0
Oupia (1x3) 5	+++	+	0
Criques des Cabiniers (1x3) 6	+++	++ ^a	0

^a Œufs de perche

Légende:

- +++ : > 100 œufs/m²
- ++ : 50 à 100 œufs/m²
- + : 1 à 50 œufs/m²
- 0 : absence d'œufs

6.6 Mise en place des radeaux végétalisés

Une journée complète a été nécessaire pour le montage et le placement des radeaux végétalisés sur le lac de la Plate Taille. La végétation déjà présente sur les structures en fibres de coco fournies par l'entreprise Aquaterra Solutions (Figure 27), a repris assez rapidement avec vigueur et en fin de saison, seules quelques mortalités sporadiques ont été notées (Figure 28). Bien que des fientes d'oiseaux et des plumes aient été relevées sur les îles artificielles, cela ne semble pas affecter la végétation présente. En effet, il semble que les radeaux soient plutôt utilisés comme aire de repos ou abri sans que les végétaux ne soient consommés. Néanmoins, les filets anti-cormorans et les grilles anti-canards ont été généralisés à l'ensemble des structures dans le courant du mois de novembre par mesure de précaution.

Afin de protéger les plantes du gel et assurer d'une bonne reprise de la végétation au printemps, de la paille a été utilisée pour recouvrir la surface des quatre îles flottantes début décembre.



Figure 27 : Ile artificielle au 02 juillet 2009



Figure 28 : Ile artificielle au 20 août 2009

6.7 Analyse de l'eau

6.7.1 Température

a) Introduction

Les poissons sont des espèces poékilothermes, ce qui signifie que le corps de l'animal suit la température ambiante alors que les grandes fonctions de l'organisme, métabolisme basal, croissance, reproduction, se déroulent dans des limites thermiques précises. Ces exigences sont différentes selon les espèces, de sorte que la répartition géographique des ces dernières est restreinte (Billard, 2005).

La température de l'eau affecte sa viscosité et sa densité, la solubilité des gaz et en particulier l'oxygène, les vitesses de réactions chimiques et biochimiques (Arrignon, 1998).

La susceptibilité des organismes aux maladies, aux parasites ou aux substances toxiques dépend aussi de la température. De même, une élévation de température influence doublement la physiologie des espèces en augmentant le métabolisme d'une part, et en réduisant la solubilité de l'oxygène dans l'eau alors que la température augmente (Billard, 2005).

Les espèces des zones tempérées tolèrent pour la plupart des températures minimales comprises entre 2 et 3°C et maximales de 25°C (salmonidés) à 30°C (cyprinidés) mais la plage de températures assurant la croissance optimale est beaucoup plus restreinte (Billard, 2005).

b) Relevés 2009

Logiquement, la température de l'eau n'a cessé d'augmenter depuis les premières mesures en mars (Figure 27). L'hiver rigoureux de l'année 2009 a entraîné un réchauffement plus lent des eaux de la Plate Taille en comparaison avec les autres années. Ceci peut expliquer l'apparition de pontes tardives de brochets le 30 avril alors que cette espèce se reproduit plus généralement en mars.

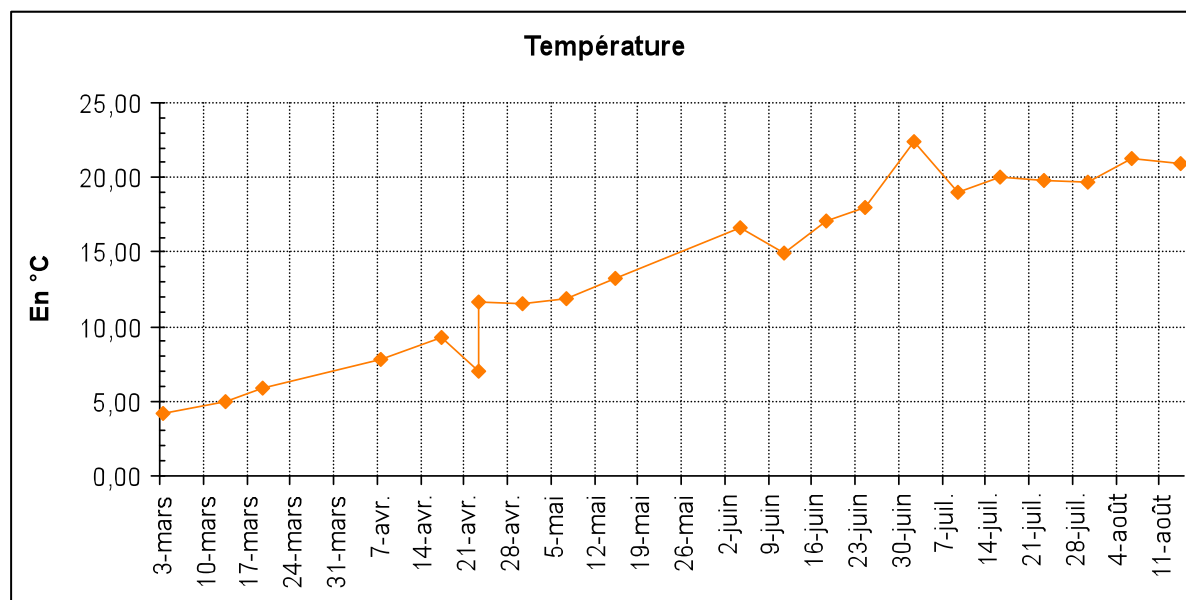


Figure 29 : Evolution de la température au cours de la campagne 2009

6.7.2 Oxygène

a) Introduction

L'oxygène naturellement dissous dans l'eau (au maximum 14,5 mg/l 0°C) est beaucoup plus faible que dans l'air (210 g/l) (Billard, 2005) et dépend de la température : si elle augmente, la solubilité de l'oxygène diminue. De plus, elle dépend de la pression atmosphérique : si cette dernière augmente, la solubilité de l'oxygène croît (Arrignon, 1998).

Plusieurs facteurs déterminent les concentrations en oxygène. Dans les eaux courantes, l'agitation de l'eau entraîne une diffusion de l'oxygène de l'air. En eau stagnante, la diffusion de l'oxygène dans l'eau est faible et la source principale est la photosynthèse assurée par les microalgues. Le zooplancton, le benthos et les bactéries sont consommateurs d'oxygène et se trouvent en compétition avec les poissons (Billard, 2005).

Les besoins des poissons en oxygène sont variables selon les espèces, les salmonidés étant par exemple plus exigeants que les cyprinidés ; la concentration critique est toutefois plus élevée en été qu'en hiver en raison de l'activité plus grande des organismes consommateurs d'oxygène. Il est admis que les eaux piscicoles ne doivent pas descendre en-dessous de 5 mg/l plus de 8 heures sur 24 heures et que les eaux à salmonidés doivent toujours en avoir au moins 6 mg/l voir même 7 mg/l (Arrignon, 1998).

b) Relevés 2009

L'évolution de la concentration en oxygène dissous au niveau des frayères (Figure 30) est à mettre en relation avec les mesures de température. En effet, l'augmentation de cette dernière a entraîné une diminution de la solubilité de l'oxygène. Cependant, les valeurs minimales enregistrées, supérieures à 6 mg/l sont sans conséquence sur la vitalité des poissons.

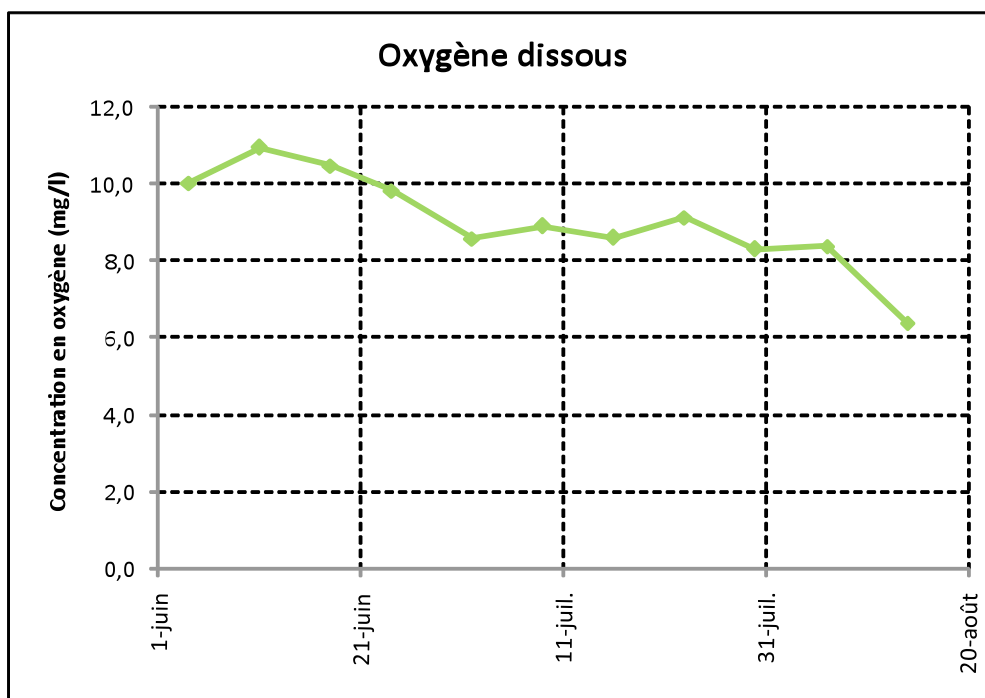


Figure 30 : Evolution de la concentration en oxygène dans l'eau

6.7.3 pH

a) Introduction

Le pH est un symbole qui exprime, par le chiffre dont il est accompagné, l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Il correspond au cologarithme de la concentration des ions hydrogènes dans l'eau. Le pH d'une eau pure ni acide, ni alcaline, contenant le même nombre d'ions H^+ et OH^- résultant de la dissociation d'une certaine partie des molécules d'eau est exactement de 7,07 les valeurs extrêmes étant alors de 0 et 14 (Arrignon, 1998).

Ainsi, la plage située entre 0 et 7 correspond aux valeurs de l'acidité tandis que la plage située de 7 à 14 correspond aux valeurs de l'alcalinité.

- $pH < 5,0$ limite inférieure pour la survie de la plupart des espèces aquicoles, exception faite de certaines accoutumances,
- $5,0 < pH < 9,0$ limites tolérables pour la plupart des espèces,
- $6,0 < pH < 7,2$ zone optimale pour la reproduction de la plupart des espèces,
- $7,5 < pH < 8,5$ zone optimale pour la productivité de plancton,
- $pH > 8,5$ certaines algues sont détruites au-delà de cette valeur,
- $pH > 9$ seuil létal de nombreuses espèces (salmonidés notamment).

b) Relevés 2009

Les relevés de pH ont révélé une eau à tendance basique se rapprochant parfois de la neutralité (Figure 31). Le pH moyen observé est de 8, soit un peu plus acide que les relevés réalisés par IGRETEC en 2002/2003, à savoir 8,2.

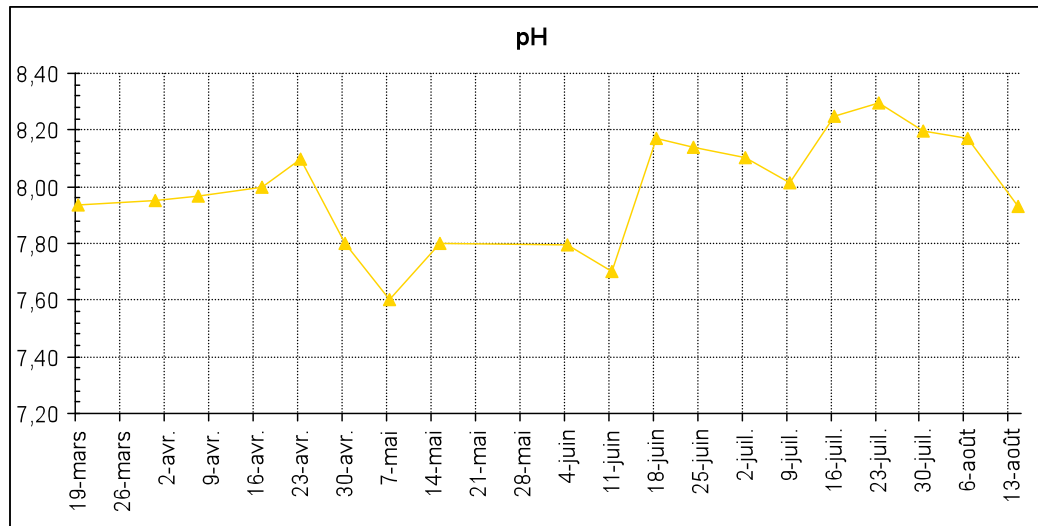


Figure 31 : Evolution du pH

6.7.4 Turbidité

a) Introduction

L'augmentation de la turbidité dans les écosystèmes aquatiques est devenue un problème majeur au cours du dernier siècle. La turbidité est causée par des particules en suspension dans l'eau comme l'argile ou le phytoplancton. La turbidité est fortement variable dans les écosystèmes aquatiques, du fait des changements saisonniers dans les sédiments en suspension, des blooms algaux et des matériaux charriés par le vent, plus particulièrement dans les lacs de faible profondeur. Il est évident que l'activité humaine a augmenté de façon générale l'érosion, conduisant à une augmentation de la turbidité dans les systèmes aquatiques. A côté des effets négatifs sur la potabilité de l'eau ou l'utilisation récréative des lacs, la turbidité peut significativement affecter les interactions proies-prédateurs des communautés piscicoles. La plupart des poissons utilisent leur vision pour la prédation et la localisation des proies ; cette vision peut être fortement influencée par la clarté de l'environnement aquatique. Ainsi, des expériences menées sur la perche et la brème ont montré que des niveaux élevés de turbidité affectaient la prise alimentaire des perches alors qu'aucun effet n'était observé chez la brème. De plus, l'effet de la turbidité change avec le type de proie du régime alimentaire du poisson : les larves utilisent la turbidité comme refuge

alors que le zooplancton n'était pas protégé de la prédation même à de hauts niveaux de turbidité. La turbidité peut jouer un rôle significatif dans la distribution des poissons. La perche et le gardon pourraient utiliser la turbidité comme élément de refuge quand les macrophytes tendent à disparaître tandis que les petites perches peuvent aussi utiliser les hauts niveaux de turbidité comme refuge même en présence de macrophytes (Pekcan-Hekim, 2007).

Unité standard de mesure de la turbidité. 1 NTU = 1 FNU (Formazin Nephelometric Unit)

- NTU < 5 : eau claire
- 5 < NTU < 30 : eau légèrement trouble
- NTU > 50 : eau trouble

b) Relevés 2009

Toutes les mesures effectuées au cours de l'année 2009 ont révélé une turbidité inférieure à 5 NTU, ce qui correspond à une eau claire. Les « pics » relatifs observés en mars, mai et juin peuvent être consécutifs à un épisode orageux ayant précédé nos mesures (Figure 32).

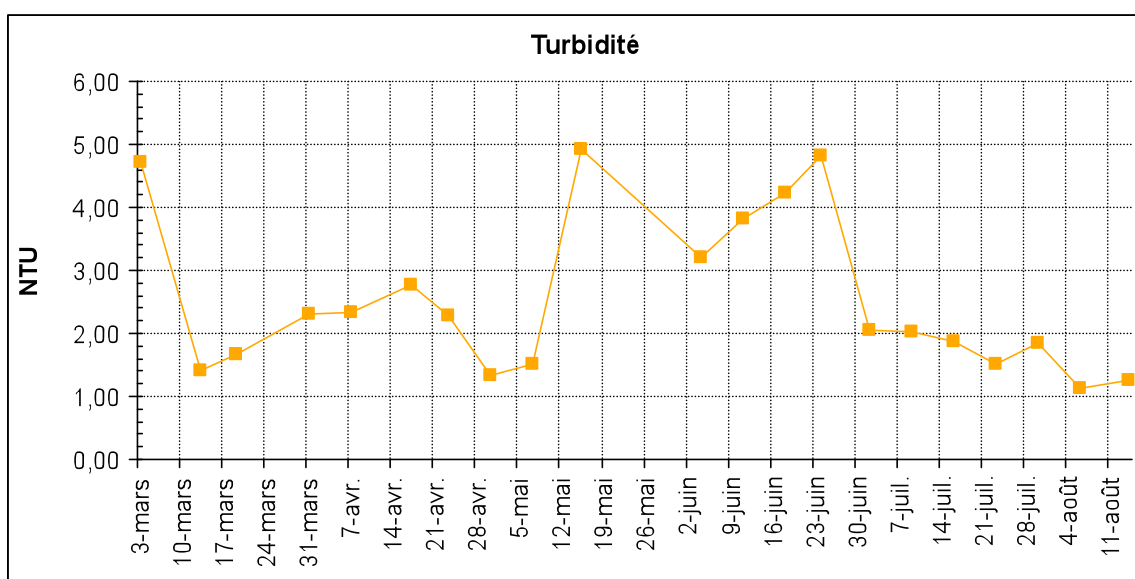


Figure 32 : Evolution de la turbidité

6.7.5 Composés azotés et phosphate

a) Composés azotés

Il existe dans l'eau divers composés azotés, originaires du bassin versant et du métabolisme des organismes aquatiques incluant les bactéries. Une partie de ces composés est représentée par l'ammoniaque qui revêt deux formes différentes, une forme combinée non ionisée NH_3 très toxique pour les poissons et une forme ionisée NH_4^+ peu toxique. La forte

toxicité de NH_3 serait due au fait que l'ammoniaque traverse facilement les parois des cellules branchiales. Dans l'ammoniaque total, la proportion de ces deux formes dans l'eau dépend de la température, du pH et de la salinité. La forme toxique non ionisée augmente lorsque la température et le pH s'élèvent ; une augmentation du pH se traduit par une augmentation de la quantité de NH_3 . La sensibilité à l'ammoniaque est variable d'une espèce à l'autre et selon la taille de l'individu. En général, les teneurs admises dans le domaine de l'aquaculture où aucune possibilité de fuite n'existe pour les poissons, doivent être voisines de zéro ou ne pas excéder 1 $\mu\text{g/l}$ et 5 $\mu\text{g/l}$ NH_3 respectivement pour les larves et les poissons plus âgés (Billard, 2005).

L'ammoniaque est dégradé par les bactéries en nitrites et nitrates. Les teneurs admissibles en nitrites sont de 0,05-0,2 mg/l. La toxicité est plus forte dans les eaux à faible alcalinité. La tolérance aux nitrites est beaucoup plus élevée (Billard, 2005).

b) Phosphates

Parmi les différentes substances nutritives susceptibles de limiter la production végétale en milieu naturel dulçaquicole, phytoplancton et plantes aquatiques, le phosphore occupe la première place. Sa concentration dans une eau naturelle est très faible, de l'ordre de quelques microgrammes par litre. En cas d'excès de phosphates, de nombreuses perturbations métaboliques du fonctionnement de l'écosystème apparaissent : les algues prolifèrent et peuvent conduire à des situations extrêmes – anaérobiose – dans le cas des eaux stagnantes (Barroin, 1999). Dans les eaux naturelles ($6,5 < \text{pH} < 8,5$), deux formes anioniques de l'acide orthophosphorique (H_3PO_4) prédominent : H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} . Il y a peu de phosphore libre dans les eaux souterraines, il se trouve principalement dans les eaux de surface avec une origine souvent anthropique – activités agricoles, stations d'épuration, collectivité... (Ouellet, 1998).

c) Relevés 2009

- *Nitrate* : présence continue de nitrate avec une moyenne de 1,35 mg/l - fluctuation du taux de nitrate au cours de la période estivale ;
- *Nitrite* : concentration en nitrite nulle ou très faible – concentration maximale moyenne de 0,04 mg/l ;
- *Ammoniac* : concentration en ammoniac très faible – concentration maximale moyenne de 0,22 mg/l ;

- *Phosphate* : forte fluctuation du taux de phosphate au cours de la période estivale avec des pics majeurs début juin et début août.

En comparaison avec les résultats obtenus par IGRETEC en 2002/2003 sur le même lac de la Plate Taille, la concentration en nitrate s'est avérée près de 1,5 x plus élevée (1,35 mg/l en 2009 contre 0,92 mg/l en 2002/2003). Cependant, ces chiffres restent en dessous des normes règlementaires en ce qui concerne la qualité des eaux de surface. En effet, l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 2 mars 2005 recommande une valeur maximale de 5 mg/l, soit bien au-dessus des valeurs observées au lac de la Plate Taille.

L'azote ammoniacal est également en dessous des limites acceptables mentionnées par ce même arrêté, soit 2 mg/l, la concentration moyenne observée s'étant élevée à 0,22 mg/l.

Enfin, la concentration moyenne en phosphate était également inférieure à la valeur fixée par l'arrêté, bien que des pics supérieurs à 1 mg/l, soit la norme maximale requise, ont été enregistrés. L'origine des ces pics n'a pas pu être déterminée.

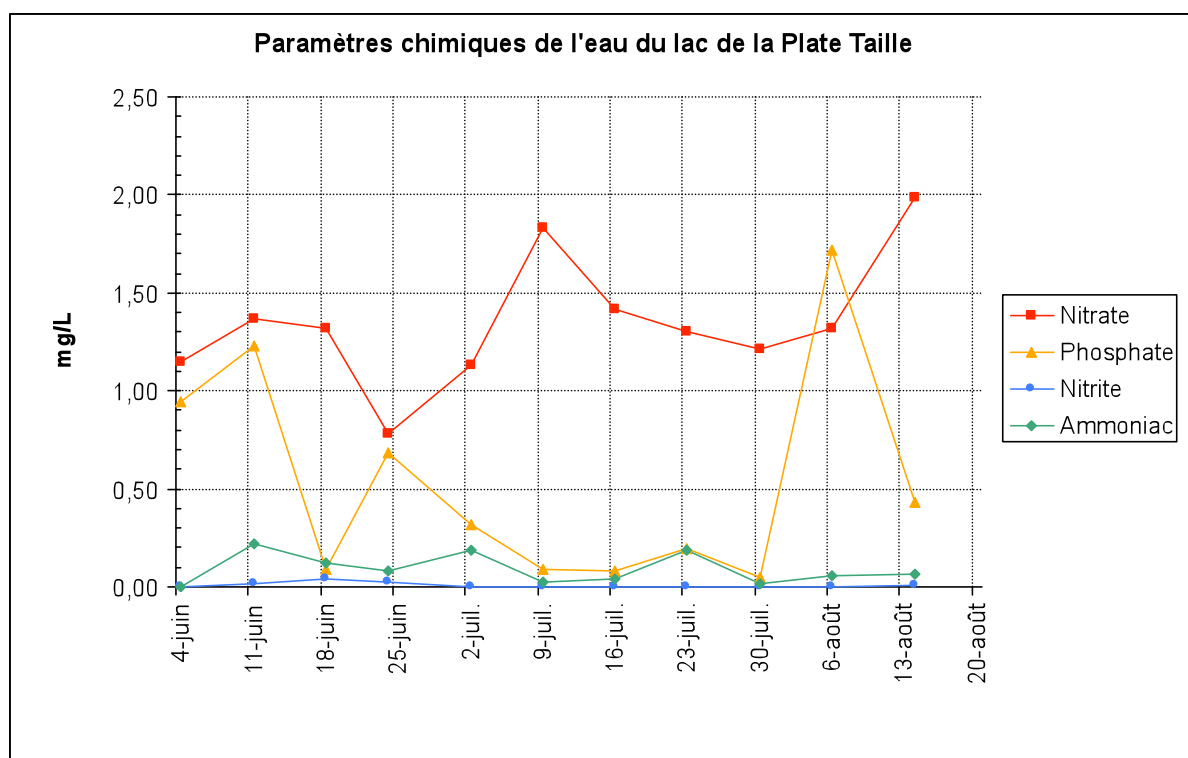


Figure 33 : Evolution de la concentration des différents composés azotés et phosphorés

6.7.6 Colmatage

Comme le montre la figure 34, les frayères ont été colmatées tout au long de la durée du projet. La situation prédominante est un colmatage généralisé à toute la frayère dont la couleur du substrat est modifiée par voie de conséquence.

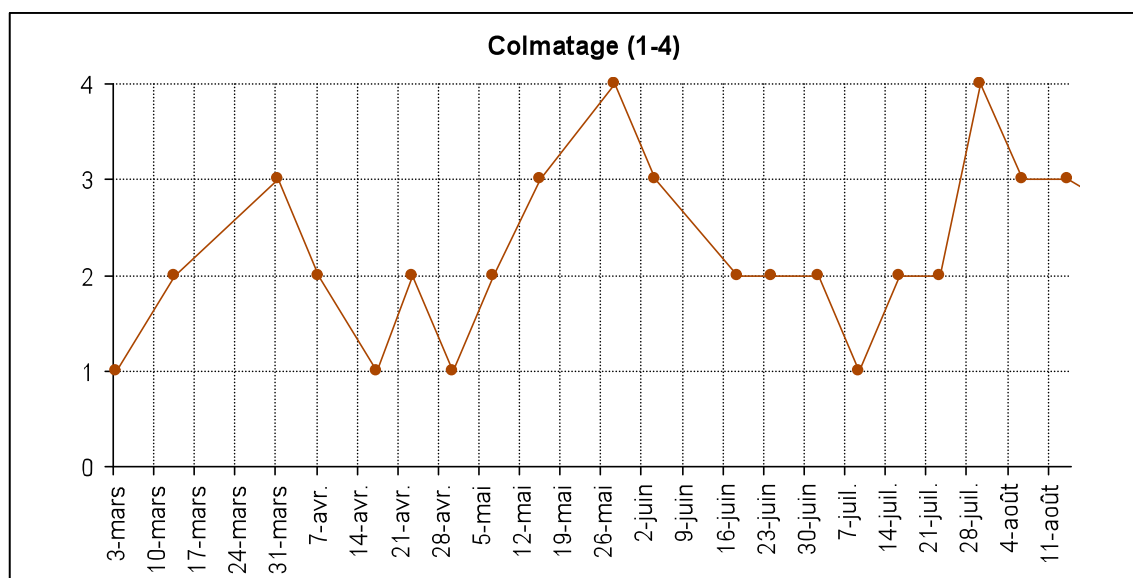


Figure 34 : Evolution du colmatage des frayères

6.7.7 Conclusions

Les analyses ont révélé une eau de bonne qualité, en phase avec les objectifs de préservation des espèces piscicoles du projet. Tous les indicateurs observés ont été inférieurs aux valeurs maximales recommandées par la Région Wallonne pour une eau de surface de qualité. Seule la concentration en phosphates a montré des pics supérieurs aux normes, sans que l'origine de ce phénomène n'ait pu être révélée.

7 ANALYSE DE LA VEGETATION SPONTANEE DES BERGES DU LAC DE LA PLATE TAILLE

En complément aux radeaux végétalisés, des actions de réhabilitation végétale des berges du lac de la Plate Taille pourraient être réalisées afin d'accroître la diversité des habitats pour les espèces de poissons. Ainsi, ce document présente une synthèse des techniques utilisées et les résultats de l'inventaire floristique afin de concevoir les actions répondant aux problématiques du site.

7.1 Végétalisation : synthèse bibliographique

7.1.1 Principaux avantages et contraintes de la végétalisation

a) Les contraintes

Le marnage représente la contrainte la plus impactante sur la végétalisation. En effet, ce phénomène remanie constamment la topographie des berges et limite la colonisation végétale. De plus, le climat, la géologie et la pédologie du site sont autant de paramètres à prendre en compte afin de garantir le succès de la végétalisation. Globalement, les facteurs physiques du site influencent directement la végétalisation mais les marges de manœuvre sont limitées. Il est donc nécessaire d'appréhender ces facteurs le plus rigoureusement possible.

Par ailleurs, la gestion hydraulique de la retenue détermine un régime hydrique saisonnier qui agit sur le cycle phénologique de chaque espèce. Pour assurer la pérennité de la succession d'espèces végétales, le régime hydrique doit être le plus régulier possible. Au niveau du lac de la Plate Taille, le régime est contraignant pour la végétation puisque globalement, le niveau d'eau est maximum durant la saison printanière (non favorable aux espèces des berges exondées) et diminue durant la période estivale : la végétation tend alors à se développer à contre-saison.

Les facteurs biologiques peuvent devenir problématiques s'ils ne sont pas pris en compte dès le début des aménagements. Ainsi, le piétinement excessif peut représenter un danger pour le maintien de la couverture végétale. Ce facteur sera déterminant pour le choix des emplacements des aménagements étant donné le rôle récréatif du lac de la Plate Taille. De même, le choix devra être influencé par l'exposition solaire et l'isolement de la zone. En effet, des berges ensoleillées présentent une diversité spécifique bien supérieure à celles des berges situées à proximité d'une zone boisée. Enfin, les successions végétales de la zone de marnage

devront être prises en compte afin de garantir une adaptabilité des espèces aux contraintes du milieu.

b) Les avantages

La végétalisation des berges présente deux avantages majeurs : l'augmentation des potentialités écologiques et paysagères du plan d'eau. En effet, elle a des conséquences importantes du point de vue écologique puisqu'elle permet de maintenir un patrimoine naturel floristique et faunistique en offrant des zones de refuge, de nourriture et de reproduction. La diversité spécifique est donc susceptible d'être améliorée. De plus, la végétalisation constitue une protection efficace contre la pollution en absorbant une partie des produits nocifs (lutte contre les risques d'eutrophisation...) et limite l'érosion des berges. Du point de vue paysager, elle améliore l'esthétique du site et lui permet de s'intégrer dans le paysage. Dans notre cas, on retiendra la possibilité d'offrir de nouveaux sites de frai pour les espèces phytophiles et d'assurer la croissance des alevins par le développement d'abris. Enfin, la mise en valeur écologique du site augmentera l'attrait touristique de celui-ci.

7.1.2 Le choix des espèces : la végétation spontanée des zones de marnage

a) Généralités

Les formations végétales des bords de plans d'eau s'organisent en ceintures concentriques selon une zonation de l'eau libre vers le milieu terrestre :

- les hydrophytes flottants : Lentilles d'eau, Utriculaires...
- les hydrophytes totalement immergés : Naïades, Characées, Potamots...
- les hydrophytes à floraison extérieur : Myriophylles, Potamots, Nénuphars...
- la scirpaie (formation à *Scirpus lacustris*...)
- la typhaie (formation à *Typha latifolia*...)
- la phragmitaie (formation à *Phragmites communis*...)
- la phalaridaie (formation à *Phalaris arundinacea*)
- la zone d'atterrissement à Joncs ou Laîches.

Les formations végétales sont très variables selon les conditions hydro-écologiques. La moindre modification de ces conditions peut induire de très forts changements dans la structure et la composition des communautés végétales. Ainsi, les différences de fluctuations

des niveaux d'eau du lac de la Plate Taille ne permettent le développement que d'espèces végétales adaptées aux phénomènes d'exondation et d'inondation, c'est-à-dire des espèces terrestres rares spécialisées à la vie dans les zones de marnage. La distribution des espèces selon le gradient d'immersion est directement influencée par le marnage journalier et saisonnier.

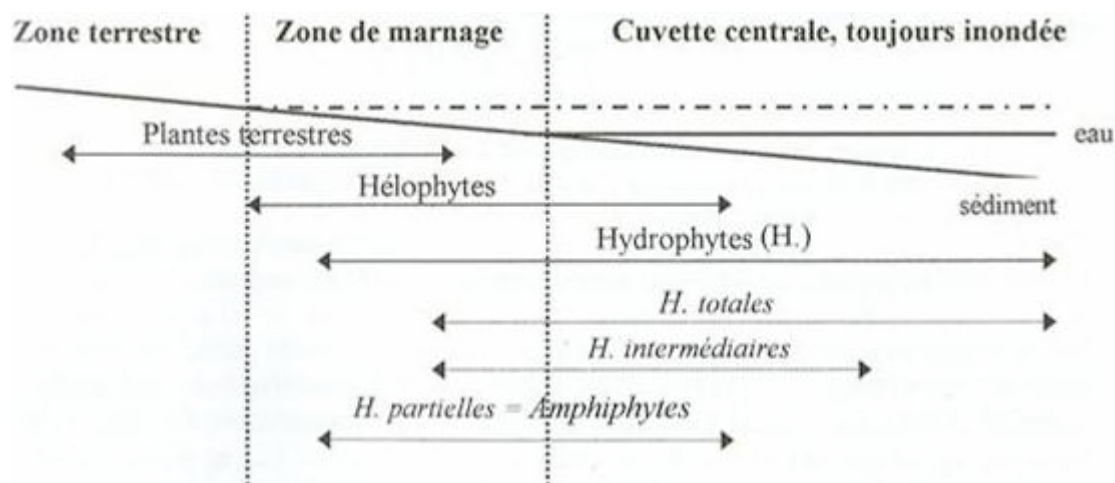


Figure 35 : Schéma représentant les différents types de plantes associées aux milieux aquatiques Source : Otto-Bruc C. 2001

b) Les espèces végétales des zones de marnage

Le cortège d'espèces pérennes ou annuelles spontanées des zones de marnage présente donc des caractéristiques propres qui lui permet d'être adapté aux contraintes du milieu. La dynamique de colonisation des zones de marnage des plans d'eau est très lente et le régime hydrique crée un gradient de contraintes spatiales et temporelles distribuées perpendiculairement à la berge. La colonisation végétale débute toujours de haut en bas des berges avec des espèces de plus en plus adaptées à la contrainte d'immersion.

De plus, le type de berges des zones de marnage influe sur le pourcentage de recouvrement du sol et la richesse spécifique. Ainsi, Fraissé (1999) a étudié les caractéristiques des différents types de berges au moyen de relevés floristiques. Globalement, les berges sableuses présentent un recouvrement végétal médiocre et une richesse spécifique faible.

Les berges escarpées bénéficient d'un recouvrement végétal faible mais la richesse spécifique peut être forte. Quant aux replats vaseux, le recouvrement est important et la richesse spécifique est moyenne. En majorité, les espèces responsables de la dynamique de

colonisation appartiennent à l'alliance *Bidention tripartiti* mais peuvent être alliées à des espèces d'hélophytes et amphibies.

Pour pouvoir végétaliser une zone de marnage avec succès, il est donc vital de réaliser un diagnostic écologique du site afin de sélectionner par la suite, les espèces les plus adaptées aux contraintes du milieu. Ainsi, l'analyse de différents résultats d'études fait ressortir certains critères à prendre en compte dans le choix des espèces à planter :

- Résistance potentielle des plantes adultes et des semences à des immersions de longue durée ;
- Résistance au stress de sécheresse ;
- Adaptabilité du mode de multiplication alternant reproduction sexuée et végétative ;
- Adaptabilité du cycle phénologique au régime hydrique ;
- Privilégier les espèces pérennes aux espèces annuelles ;
- Privilégier les espèces appartenant à l'alliance du *Bidention tripartiti*.

L'ensemble de ces critères se retrouve ainsi dans les 10 espèces sélectionnées et étudiées par Fraissé (1999). Il s'agit des espèces susceptibles d'être les plus adaptées aux contraintes des zones de marnage. Il semble donc important de privilégier des espèces apparentées lors de la revégétalisation. Ainsi, 6 familles sont retenues :

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire
Cypéracées	<i>Eleocharis palustris</i>	Souchet des marais
Cypéracées	<i>Carex hirta</i>	Laîche hérissée
Cypéracées	<i>Cyperus eragrostis</i>	Souchet robuste
Cypéracées	<i>Scirpus maritimus</i>	Souchet maritime
Poacées	<i>Phalaris arundinacea</i>	Baldingère faux roseau
Poacées	<i>Deschampsia cespitosa</i>	Canche cespiteuse
Lamiacées	<i>Mentha pulegium</i>	Menthe pouliot
Brassicacées	<i>Rorippa sylvestris</i>	Cresson des bois
Primulacées	<i>Lysimachia vulgaris</i>	Grande Lysimaque
Lythracées	<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire officinale

7.1.3 Les techniques végétales potentiellement adaptées au site d'étude

a) Choix des techniques

Deux techniques de végétalisation peuvent répondre aux objectifs de l'action et semblent réalisables sur les berges du lac de la Plate Taille : l'ensemencement et la plantation.

- **Technique d'ensemencement**

Elle consiste à implanter manuellement ou mécaniquement des graines herbacées sur des surfaces dénudées afin d'obtenir des zones de recouvrement végétal pérennes dans le temps. Cette technique présente l'avantage d'avoir une mise en œuvre rapide et des coûts de mise en place relativement peu élevés par rapport à d'autres techniques. Par contre, il est indispensable de laisser une émergence estivale et printanière de 6 mois afin que le couvert végétal s'installe.

Mise en place :

- Faire un hersage léger de la surface à ensemercer afin d'ameublir le sol ;
- Faire un épandage des semences sur toute la surface soit à sec et à la volée, soit par ensemencement hydraulique à raison de 200/250 kg/ha ;
- Ratisser légèrement le sol pour enfouir les semences sur une mince couche de sol et arroser ;
- Mettre en place un géotextile biodégradable ou géonatte afin de limiter le lessivage des semences et/ou le déchaussement des plantules.

Période :

L'ensemencement peut être effectué pendant toute la durée de la période sans gel. Néanmoins, les résultats seront optimaux si les semis sont réalisés au printemps (fin avril à juin) ou en automne (mi-août à fin septembre).

Entretien :

Aucun entretien n'apparaît nécessaire. Une mise en défens contre la faune sauvage ou le piétinement peut être utile.

- **Technique de plantation**

Elle consiste à mettre en place des plants de végétaux herbacés ou ligneux afin d'obtenir rapidement un couvert végétal continu et protecteur. Elle peut être employée en complément de la technique précédente dans les zones de contraintes sévères. Contrairement à l'ensemencement, la période d'émergence nécessaire à l'implantation du couvert végétal est

courte (3 mois suffisent). Cependant, le coût et le temps de réalisation de l'action sont élevés (production des plants – opération de plantation – entretien des plantations).

Mise en place :

- Réaliser un schéma de plantation (4, 5 plants par mètre carré si la surface plantée représente 50 % de la surface initiale) ;
- Creuser des trous suffisamment larges et profonds pour permettre l'étalement des racines selon le schéma ;
- Planter le plus verticalement possible et enfouir les racines jusqu'au niveau du collet - utiliser des végétaux âgés de 2 à 3 mois ;
- Tasser légèrement le sol et arroser les jeunes plants ;
- Mettre en place un géotextile biodégradable ou géonatte afin de limiter le déchaussement des plants.

Période :

Les plantations doivent être prioritairement réalisées durant le printemps. En fait, la période doit être choisie en fonction du régime hydrique saisonnier.

Entretien :

Il est nécessaire d'assurer des campagnes d'arrosage afin d'optimiser la reprise des végétaux. Une mise en défens contre la faune sauvage ou le piétinement peut être utile.

b) Règles générales

La réalisation d'un diagnostic écologique est un préalable indispensable à l'élaboration du cahier des charges. De même, le choix de l'outil végétal est primordial pour espérer un succès de végétalisation. Quelques points clés sont à mettre en avant :

- Une étude préalable est indispensable pour concevoir correctement le projet ;
- Choisir la période de travaux en fonction de la période de reprise des végétaux implantés ;
- Respecter les périodes d'émersion nécessaires à l'implantation des végétaux ;
- Nécessité de prévoir un planning d'entretien avant la réalisation du projet ;
- Assurer le bon stockage des matériaux vivants ou non.

7.1.4 Exemples de végétalisation de zones de marnage

Essai de végétalisation par ensemencement et plantation d'herbacées dans la retenue de Serre-Ponçon dans les Hautes-Alpes (France).

Le régime hydrique et l'érosion éolienne limitent la colonisation naturelle des berges par les végétaux. Face à ce constat, les gestionnaires ont décidé de tester des techniques de végétalisation des berges par ensemencement ou plantation à partir d'une espèce présente sur le site et d'espèces connues pour leur adaptation aux zones de marnage. L'ensemencement est réalisé soit sur sol nu, soit sur géotextile, soit sur géonatte. Le taux de germination est alors maximal sur la géonatte, les autres essais ayant subi un enfouissement et un lessivage des semis. Par ailleurs, seule l'espèce endémique et adaptée aux zones de marnage s'est développée témoignant de l'importance du choix des espèces implantées.

Essai de végétalisation par ensemencement et plantation d'herbacées de la retenue de Monteynard dans l'Isère (France) :

Les berges minérales inhospitalières de la retenue associées à un régime hydrique saisonnier irrégulier entraînent des zones de marnage très sensibles à l'érosion où la végétation est absente. La végétalisation de berges a démontré que les techniques utilisant la végétation spontanée des zones de marnage s'avèrent être les plus efficaces. Un des objectifs de cette végétalisation était de créer des zones de frayères, en partie basse de la zone de marnage. Pour ce faire, deux phases ont été mises en place. Tout d'abord, des essais préalables sur des parcelles réduites sont réalisés afin de sélectionner les espèces et de définir la profondeur maximale de végétalisation. Ensuite, l'opération de végétalisation par plantation en grandeur nature est mise en place. Une floraison est constatée dès la première année sur les plants.

Essai de végétalisation par ensemencement et plantation d'herbacées de la retenue de l'Aussoué en Haute-Garonne (France) :

L'impact du marnage par la création de la retenue de l'Aussoué allait entraîner la disparition des végétaux des berges pourtant très favorables au peuplement piscicole. C'est pourquoi il a été décidé de réaliser des essais de végétalisation par ensemencement et par plantation. Résultat : des plages continues d'herbiers amphibies se sont développées. Les

espèces spontanées adaptées au marnage appartiennent à la famille des Cypéracées, des Graminées, des Brassicacées, des Polygonacées... Le succès important de ces essais est lié à la gestion hydraulique interannuelle et au caractère récent de la retenue.

7.2 Analyse de la végétation spontanée des berges du lac de la Plate Taille

7.2.1 Principaux types d'habitats du lac de la Plate Taille (Duvigneaud & Havrenne, 1985 – Saintenoy-Simon, 1994 – Duvigneaud & Saintenoy-Simon, 1995)

Les études menées par Noïrfalise & Saintenoy-Simon (1992) puis complétées et corrigées par les membres d'ONG naturalistes et les biologistes du Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois ont permis d'identifier les principaux habitats du lac de la Plate Taille décrits d'après la nomenclature CORINE Biotope.

Liste des habitats classés selon le code CORINE :

- **Code 22.323 - Communautés naines à joncs des crapauds**

Description : Associations d'extensions souvent très réduites apparaissant au cours de la phase d'assèchement des mares temporaires, des ornières inondées ou des pistes forestières, des pistes des landes humides, des chemins forestiers humides, des pelouses mouvantes suintantes et autres sols suffisamment éclairés temporairement inondés, le plus souvent acides, caractérisés par *Juncus bufonius*, *Isolpepsis setacea* (*Scirpus setaceus*), *Cyperus flavescens*, *Centunculus minimus*, *Spergularia segetalis*, *Centaureum pulchellum*, *Blackstonia perfoliata*, *Samolus valerandi*, *Cicendia filiformis*, *Radiola linoides* et *Illecebrum verticillatum*.

Alliance phytosociologique : *Juncenion bufonii*, *Radiolenion linoidis*

Habitats inclus dans la catégorie : Gazons à *Juncus bufonius* - Gazons à petits Souchets - Communautés d'herbes naines des substrats humides.

- **Code 22.33 - Groupements à *Bidens tripartitus***

Description : Communautés de plantes annuelles plus élevées colonisant les vases riches en azote des mares, étangs et des lacs médio-européens asséchés, constitués de *Bidens spp.*, *Rorippa palustris* (*Rorippa islandica*), *Chenopodium spp.*, *Polygonum spp.*, *Rumex maritimus*, *Rumex palustris*, *Ranunculus sceleratus*, *Tephrosia palustris* (*Senecio congestus*), *Catabrosa aquatica*, *Leersia oryzoides*.

Alliance phytosociologique : *Bidention tripartitae*

- **Code 22.421 - Groupements de grands potamots**

Description : Associations de grands Potamots (*Potamogeton lucens*, *Potamogeton praelongus*, *Potamogeton zizii*, *Potamogeton perfoliatus*) caractéristiques des eaux libres, profondes.

Alliance phytosociologique : *Magnopotamion*

- **Code 22.422 - Groupements de petits potamots**

Description : Formations de Potamots plus petits, de Renoncules, de Cératophylles et autres plantes subaquatiques enracinées (*Potamogeton crispus*, *Potamogeton filiformis*, *Potamogeton* du groupe pusillus, *Groenlandia densa*, *Ranunculus circinatus*, *Ceratophyllum*, *Elodea*, *Najas*, *Zannichellia*, *Vallisneria*) qui colonisent ces eaux moins profondes, plus abritées.

Alliance phytosociologique : *Parvopotamion*

- **Code 53.1 - Roselières**

Description : Roselières avec grands héliophytes, habituellement pauvres en espèces (souvent dominées par une seule espèce), elles croissent dans les eaux stagnantes ou à écoulement lent, de profondeur fluctuante et quelquefois sur des sols hydromorphes. Elles peuvent être classées selon les espèces dominantes qui confèrent à chacune d'elles une apparence propre.

Alliance phytosociologique : *Phragmition australis*, *Scirpion maritimi*

Habitats inclus dans la catégorie : Phragmitaies - *Scirpaies lacustres* – Typhaies - Roselières basses - Végétation à *Glyceria maxima* - Végétation à *Phalaris arundinacea* - Végétation à *Scirpes halophiles*

- **Code 53-218 - Cariçaies à *Carex pseudocyperus***

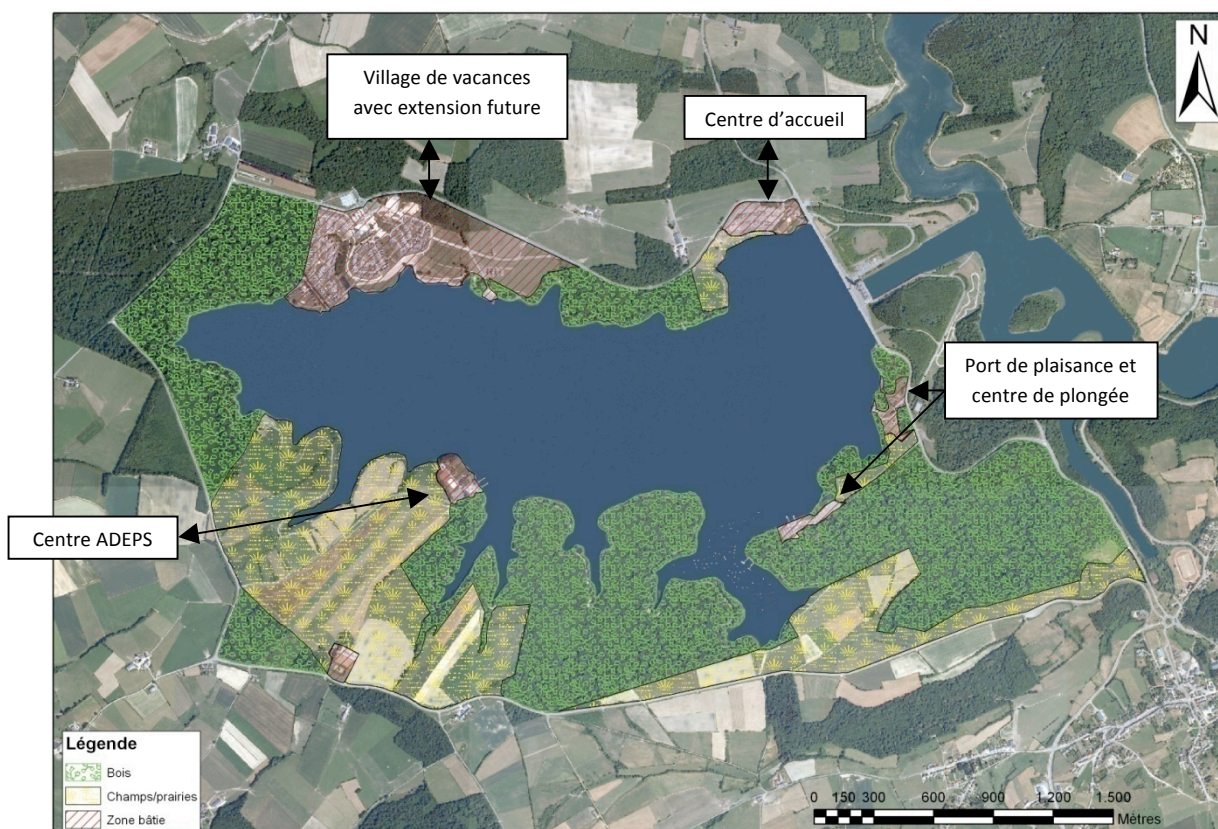
Description : Formations à *Carex pseudocyperus* sur des sols le plus souvent tourbeux, légèrement acides, en situations très humides.

Alliance phytosociologique : *Cicuto-Caricetum pseudocyperi*

7.2.2 Caractérisation des berges du lac de la Plate Taille

a) Occupation des berges

La carte suivante (Figure 36) représente une vue d'ensemble de l'occupation des berges de la Plate Taille inscrite dans la zone délimitée par la route encerclant ce lac. Trois types principaux d'occupation se révèlent à l'analyse de la carte. Les zones boisées ainsi que les prairies et champs sont majoritairement présents sur les berges de la Plate Taille. Les zones bâties correspondent principalement aux différents centres nautiques, au barrage et au village de vacances. Il est à noter l'extension actuelle de ce dernier, au niveau d'une zone principalement occupée par des prairies.



b) Types de berges

La carte suivante (Figure 37) représente la répartition des différents types de berges rencontrées sur le pourtour du lac de la Plate Taille. Celles-ci sont majoritairement naturelles (91%) et parmi elles, la ripisylve domine (49%). Les berges artificielles sont principalement constituées par le mur du barrage ainsi que les différentes mises à l'eau des centres nautiques.

Il est à noter que l'occupation des rives (tableau 10) correspond aux périodes de mise en eau maximale du lac. Une extension des zones de terre et de plages de graviers survient en effet lorsque le marnage est important.

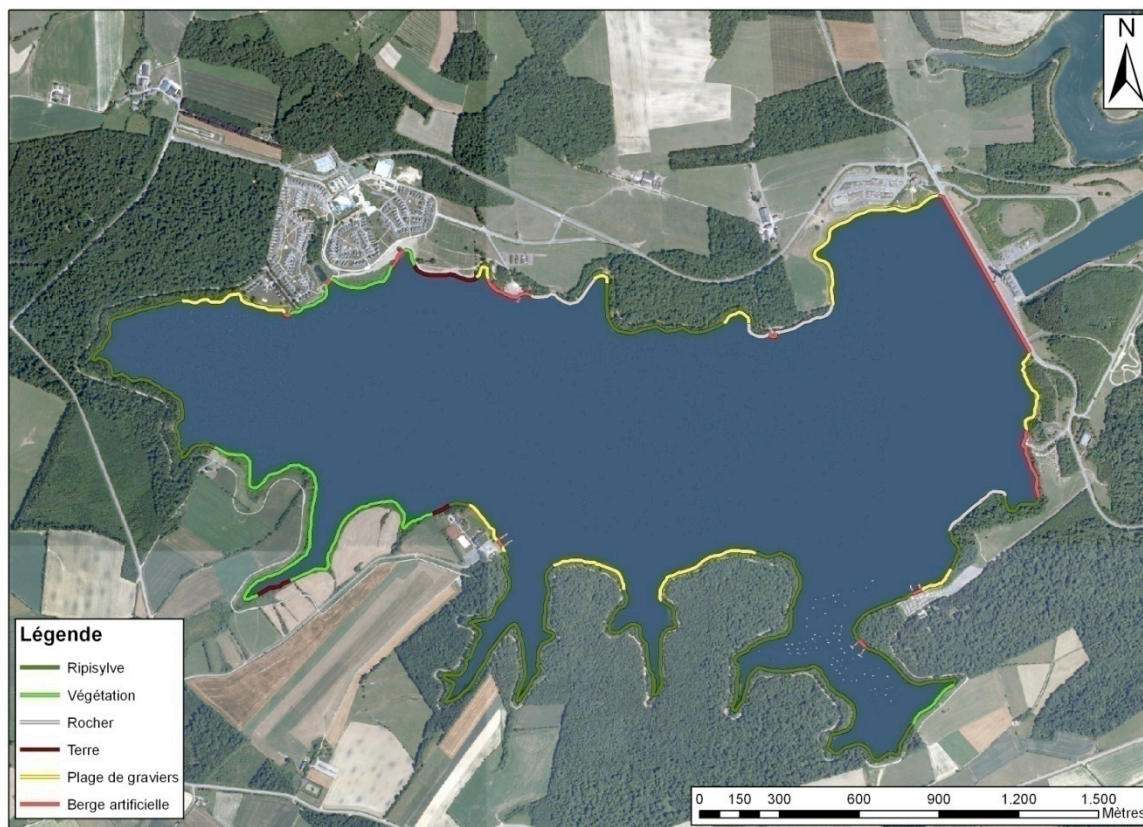


Figure 37 : Recensement des différents types de berges du lac de la Plate Taille

Tableau 10 : Types de berges rencontrées au lac de la Plate Taille

Type de berge	Longueur totale (m)	Proportion (%)
Ripisylve	8346	49
Végétation	2746	16
Plage de graviers	3026	18
Rochers	939	5
Terre	470	3
Berge artificielle	1447	9
Total	16974	100

7.2.3 Aperçu de la végétation spontanée du lac de la Plate Taille (Duvigneaud & Havrenne, 1985 – Saintenoy-Simon, 1994 – Duvigneaud & Saintenoy-Simon, 1995)

a) Présentation générale

La carte suivante (Figure 38) représente les groupements végétaux recensés lors de l'inventaire. Il est intéressant de remarquer que la majorité de la végétation aquatique est située sur les rives sud du lac de la Plate Taille, majoritairement dans les anses. Cela s'explique d'une part par la nature du substrat, constituée principalement de rochers au nord et de zones anthropisées comme des plages artificielles et des mises à l'eau. A l'inverse, les anses sont marquées par des pentes douces plus propices à l'installation de la végétation.

Classé comme Site de Grand Intérêt Biologique (SGIB), le lac de la Plate Taille présente une faune et une flore remarquables pour la région wallonne. En effet, les inventaires des zones exondées de ses berges témoignent de la présence d'une végétation amphibie intéressante.

La végétation aquatique du lac, en bordure septentrionale, présente une variété d'espèces de Potamots (*Potamogeton crispus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton obtusifolius*, *Potamogeton pectinatus*) complétée par une végétation enracinée immergée où dominent *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii*, *Zannichellia palustris* subsp. *palustris*, *Ranunculus circinatus*...

Sur les berges envasées s'installe un gazonnement formé par des espèces de petite taille, adaptées à des variations du niveau de l'eau comme *Callitriche hamulata*, *Limosella aquatica*. Là où les vases sont un peu asséchées se développe un groupement de *Lythrum portula*, *Gnaphalium uliginosum*, *Isolepis setacea*... Enfin, plus haut sur les berges, ce sont les espèces de l'alliance *Bidention tripartiti* qui dominent comme *Polygonum hydropiper*, *Polygonum lapathifolium*, *Rorippa palustris* ...

Des espèces des roselières et des magnocariçaies s'implantent ensuite, notamment *Eleocharis palustris*, *Typha latifolia*, *Carex pseudocyperus*, *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*, *Glyceria fluitans*... Elles sont accompagnées de diverses espèces palustres et rivulaires comme *Ranunculus flammula*, *Juncus effusus*, *Juncus inflexus*, *Juncus tenuis*, *Lycopus europaeus*, *Lythrum salicaria*, *Myosotis laxa* subsp. *cespitosa*, *Myosotis scorpioides*, *Scutellaria galericulata*, *Lotus pedunculatus*, *Scirpus sylvaticus*, *Carex demissa*, *Carex ovalis*, *Carex remota*...



Figure 38 : groupements végétaux (en vert) recensés à l'aide de GPS

Pour une description plus détaillée des recensements végétaux effectués, le site du lac de la Plate Taille a été subdivisé en 4 parties (Figure 39). Le relevé de la végétation a suivi un sens anti-horloger et a débuté au pied du barrage.

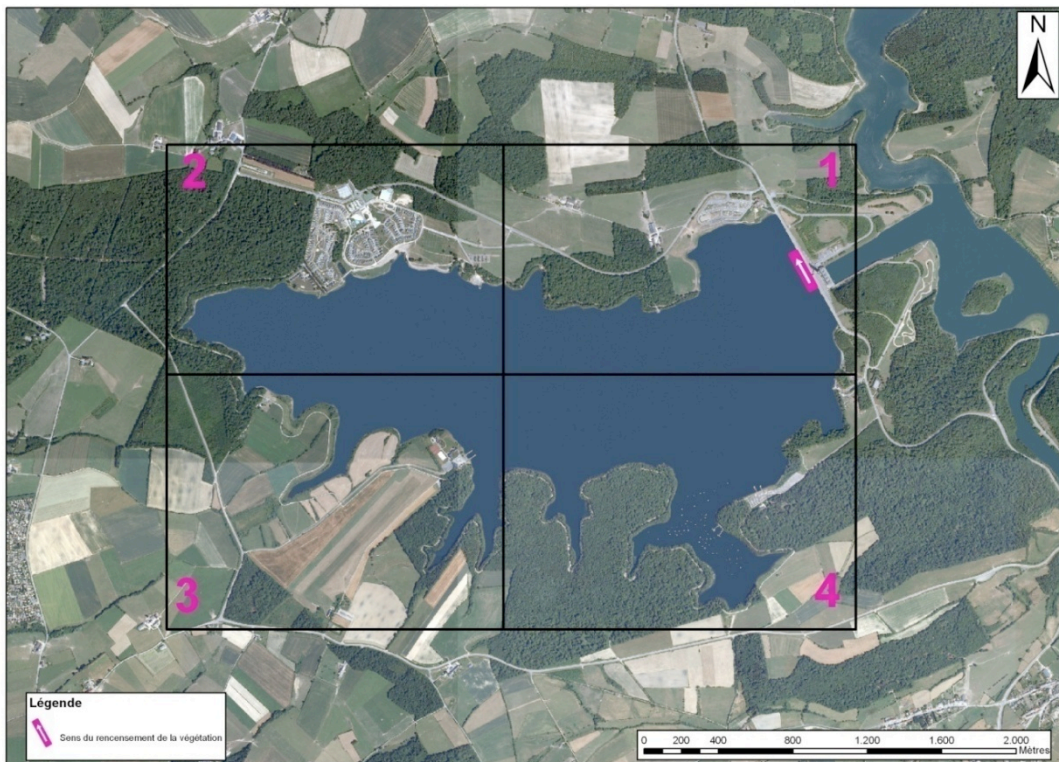


Figure 39 : Division du lac de la Plate Taille en secteurs de prospections

b) Partie 1 : Zone du barrage et du centre d'accueil

Très peu de végétation aquatique a été recensée dans cette zone. Cette situation s'explique par deux facteurs principaux. Premièrement, la proximité du centre d'accueil et d'un vaste parking ainsi que d'une grande plage de graviers (Figure 36) en pente douce attirent inévitablement les baigneurs en période estivale. Il en résulte une fréquentation et un piétinement importants de la zone, incompatibles avec l'installation durable de la végétation aquatique. Il est d'ailleurs intéressant de constater que la végétation est bien présente à proximité du mur de barrage, cet endroit étant difficilement accessible.

Deuxièmement, la berge présente dans le prolongement de la plage de graviers est constituée de roches affleurantes sur lesquelles viennent se briser les vagues, l'ensemble est peu propice à la colonisation végétale.

Quant à la végétation proprement dite, elle est principalement constituée d'une graminée, *Phalaris arundinaceae* et de saules *Salix* sp.. Ces derniers forment une ceinture continue au niveau du centre d'accueil. Ils ont été enregistrés dans les relevés car, supportant une vie aquatique, il présente un lieu de refuge pour les petits individus de poissons par l'intermédiaire de son système racinaire complexe et en partie aérien. La liste des espèces végétales rencontrées sur chaque relevé est donnée en annexe.



c) Partie 2 : Zone du village de vacances et queue du lac

La végétation aquatique et semi-aquatique est, à l'instar de la zone précédente, très peu développée dans cette partie. La présence de berges artificielles est un frein à son développement. Ces dernières sont présentes sous diverses formes : rampe de mise à l'eau au centre véliplanchiste, mur de soutènement, plage artificielle... De plus, lorsque des plants sont présents en bordure d'eau, ils sont fortement menacés de piétinement par les visiteurs et autres usagers du centre de vacances. Cependant, il est préférable de concentrer les activités de loisirs à quelques endroits ponctuels et réglementés comme tentent de le faire les instances de gestion du complexe des barrages de l'Eau d'Heure plutôt que de voir se développer un tourisme « sauvage » sur l'ensemble des berges, ce qui serait encore plus dommageable pour la végétation aquatique.

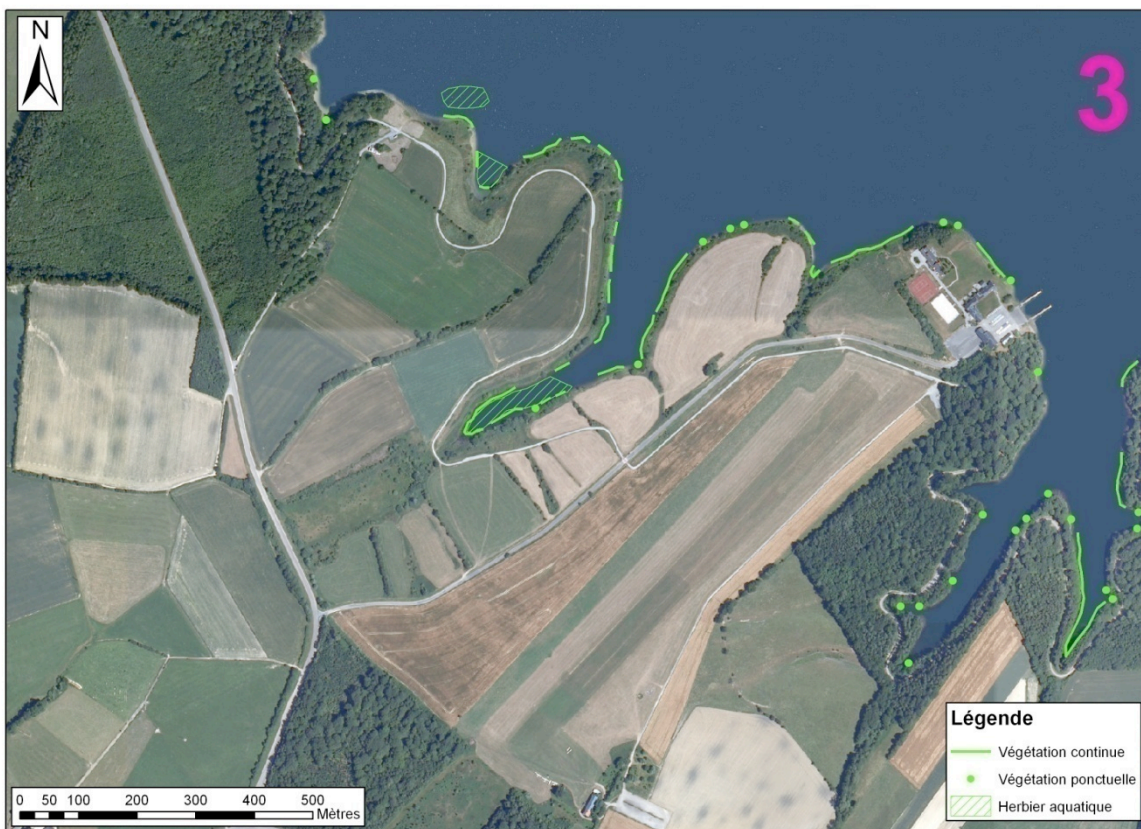
Des zones intéressantes ont néanmoins été mises à jour dans cette partie. Premièrement, à proximité de la plage artificielle, un ensemble diversifié de plantes aquatiques est présent. Dix espèces ont été recensées à cet endroit. Ensuite, peu après la sortie de la zone bâtie, au niveau de la ripisylve, une population de *Typha latifolia*, la seule trouvée lors des relevés, a été relevée. Le reste des berges est couvert par la ripisylve. Exposée au sud, cette partie s'assèche plus rapidement, même sous le couvert des arbres, ce qui est totalement différent au sein de la ripisylve de la partie sud exposée au nord. Ce phénomène sera constaté à maintes reprises. Enfin, il est intéressant de constater la présence d'un herbier aquatique. Ces herbiers n'ont pas fait l'objet d'un recensement lors de cette campagne de relevés. Dès lors, les quelques herbiers mis à jour l'ont été de façon fortuite lors de la baisse du niveau des eaux ou par transparence lorsque que le fond était visible. Ainsi, un nombre plus important devrait être révélé lors d'une campagne future axée sur ces communautés végétales particulièrement intéressantes pour les poissons.



d) Partie 3 : Zone de la anse de la Fontaine aux Planes et du centre ADEPS

C'est dans cette partie que se trouve une des zones les plus intéressantes d'un point de vue de la végétation aquatique. Les différentes anses sont propices à l'installation de la végétation. Elles présentent des pentes faibles, un ensoleillement important de même qu'une protection contre le vent et donc la dessiccation. A plusieurs endroits, elle forme un tapis continu de joncs, menthe aquatique, *Phalaris arundinaceae* et saules. Les différentes anses de la partie sud présentent en outre des berges colonisées par une série d'espèces rares en Belgique comprenant Pourpier d'eau (*Lythrum portula*), Limoselle (*Limosella aquatica*), Callitriche des marais (*Callitriche palustris*)... Ces espèces prolifèrent particulièrement au niveau des anses des lacs qui s'envasent de façon préférentielle et sont alors les mieux susceptibles d'accueillir cette association très rare en Belgique et quasi unique en Wallonie (Girea, 1989).

De plus, un abondant tapis de végétation aquatique s'est développé à l'intérieur de ces anses, l'ensemble formant une zone idéale pour la reproduction et l'alevinage des poissons. C'est dans cette zone qu'ont été observés la majeure partie des frais de brème. Les berges artificielles sont absentes, à l'exception de la rampe de mise à l'eau des bateaux et planches à voile du centre ADEPS. Il est dès lors essentiel de préserver ces zones qui peuvent constituer un point de départ à une végétalisation plus étendue des berges du lac de la Plate Taille.



e) Partie 4 : Zone du port de plaisance et du centre de plongée

A l'instar de la partie précédente, cette dernière zone recèle des communautés végétales intéressantes tant sur le point de la gestion piscicole que d'un point de vue végétalisation. De plus, un grand herbier constitué de *Potamogeton pectinatus* a été recensé au large d'une berge dénudée de toute végétation autre que la ripisylve.

Au niveau de la anse des « Cabiniers », la berge abrite une jonchaie bordée de Limoselles aquatiques, espèces exceptionnelles et rares pour la région (liste rouge et intégralement protégée en Région Wallonne, décret 6/12/2001 annexe b). Elles sont associées à la Renoncule flammette (*Ranunculus flammula*), à la Roripe des marais (*Rorippa palustris*), à la petite Renouée (*Polygonum minus*), à la Menthe aquatique (*Mentha aquatica*), à la Menthe des champs (*Mentha arvensis*), à la Menthe verticillée (*Mentha verticillata*). La Callitriche des marais (*Callitriche palustris*), seule station connue en Wallonie, est présente. Cette association végétale, appelée « Peplido-limoselletum », caractérise les zones littorales en pente douce, vaseuses, alternativement inondées et exondées. Elle est principalement localisée en bordure sud au niveau de la anse « Fontaine aux Planes » et au fond de la anse des « Cabiniers ».

Au fond de la anse des « Cabiniers », à l'arrière de la zone à limoselles, sur les berges, on retrouve les espèces rivulaires classiques relevant de l'alliance du *Bidention tripartiti*. Les joncs (*Juncus effusus* et *Juncus bufonius*) sont particulièrement bien représentés parmi les héliophytes au côté des espèces de roselières et des magnocariçaies avec notamment le Scirpe des marais (*Eleocharis palustris*), l'Iris jaune (*Iris pseudacorus*), la Baldingère (*Phalaris arundinacea*), la Laîche vésiculeuse (*Carex vesicaria*)...

Il est important ici de signaler la fragilité d'une bande végétale située en bordure d'une prairie (entourée en rouge sur la figure). De nombreuses traces de piétinements ont été observées non seulement sur la berge mais également dans les eaux de faibles profondeurs. Or cette zone, facile d'accès depuis le Ravel, représente un cas unique de végétation aquatique rivulaire sur l'ensemble du lac de la Plate Taille, confirmé par la présence de bancs de juvéniles de poissons. Il est dès lors primordial de la protéger des dégradations pouvant survenir en période estivale. Le reste de la zone, en direction du barrage, ne présente que peu d'intérêts du fait de la présence du port de plaisance et d'une berge naturelle composée de roches affleurantes.



7.2.4 Liste des espèces végétales inventoriées sur le lac de la Plate Taille

- **Espèces aquatiques (Hydrophytes)**

Nom scientifique	Nom vernaculaire
<i>Callitriche hamulata</i>	Callitriche en crochet
<i>Callitriche palustris</i>	Callitriche aquatique
<i>Elodea canadensis</i>	Élodée du Canada
<i>Elodea nuttallii</i>	Élodée à feuilles étroites
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle en épi
<i>Potamogeton crispus</i>	Potamot crépu
<i>Potamogeton lucens</i>	Potamot brillant
<i>Potamogeton obtusifolius</i>	Potamot à feuilles obtuses
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Potamot à feuilles pectinées
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Potamot à feuilles perfoliées
<i>Ranunculus circinatus</i>	Renoncule en crosse
<i>Zannichellia palustris subsp. palustris</i>	Zannichellie des marais

- **Espèces semi-aquatiques (Amphiphytes et Hélophytes)**

Nom scientifique	Nom vernaculaire
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Plantain d'eau
<i>Carex acutiformis</i>	Fausse Laiche aiguë
<i>Carex demissa</i>	Laiche vert jaunâtre
<i>Carex disticha</i>	Laiche distique
<i>Carex ovalis</i>	Laiche des lièvres
<i>Carex pseudocyperus</i>	Laiche faux souchet
<i>Carex remota</i>	Laiche à épis espacés
<i>Carex vesicaria</i>	Laiche vésiculeuse
<i>Eleocharis palustris</i>	Scirpe des marais
<i>Equisetum fluviatile</i>	Prêle des rivières

<i>Glyceria fluitans</i>	Glycérie flottante
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	Cotonnière des fanges
<i>Isolepis setacea</i>	Isolépis sétacé
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris jaune
<i>Juncus articulatus</i>	Jonc articulé
<i>Juncus bufonius</i>	Jonc des crapauds
<i>Juncus effusus</i>	Jonc diffus
<i>Juncus inflexus</i>	Jonc arqué
<i>Juncus tenuis</i>	Jonc fin
<i>Limosella aquatica</i>	Limoselle aquatique
<i>Lotus pedunculatus</i>	Lotier des fanges
<i>Lycopus europaeus</i>	Lycope d'Europe
<i>Lysimachia nummularia</i>	Lysimaque nummulaire
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Lysimaque commune
<i>Lythrum portula</i>	Pourpier des marais
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire commune
<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique
<i>Mentha arvensis</i>	Menthe des champs
<i>Mentha verticillata</i>	Menthe verticillée
<i>Phalaris arundinacea</i>	Baldingère
<i>Polygonum amphibium</i>	Renouée amphibie
<i>Polygonum hydropiper</i>	Poivre d'eau
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Renouée à feuilles d'oseille
<i>Polygonum minus</i>	petite Renouée
<i>Ranunculus flammula</i>	Renoncule flammette
<i>Rorippa islandica</i>	Roripe d'Islande
<i>Rorippa palustris</i>	Roripe des marais
<i>Rumex spp</i>	Oseille
<i>Rumex conglomeratus</i>	Oseille agglomérée

<i>Sagittaria sagittifolia</i>	Sagittaire
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Jonc-des-chaisiers
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Scirpe des bois
<i>Scutellaria galericulata</i>	Grande Toque
<i>Typha latifolia</i>	Massette à larges feuilles

En gras : espèce adaptée au régime hydrique des zones de marnage, d'après l'étude de Fraissé T. (1999)

- **Espèces rivulaires**

Nom scientifique	Nom vernaculaire
<i>Betula pendula</i>	Bouleau pendant
<i>Cardamine hirsuta</i>	Cardamine hérissée
<i>Filipendula ulmaria</i>	Fausse Spirée
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne élevé
<i>Lathyrus pratensis</i>	Gesse des prés
<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier commun
<i>Myosotis laxa</i> subsp. <i>cespitosa</i>	Myosotis gazonnant
<i>Myosotis scorpioides</i>	Myosotis des marais
<i>Phleum pratense</i>	Fléole des prés
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantain lancéolé
<i>Potentilla anserina</i>	Ansérine
<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé
<i>Ranunculus repens</i>	Renoncule rampante
<i>Rosa canina</i>	Rosier des chiens
<i>Salix spp</i>	Saule
<i>Salix aurita</i>	Saule à oreillettes
<i>Solanum dulcamara</i>	Douce-amère
<i>Stachys palustris</i>	Epiaire des marais

7.3 Inventaire floristique

7.3.1 Protocole de l'inventaire

Les travaux préparatoires à la campagne de terrain ont consisté essentiellement à réaliser une liste des espèces, à partir des inventaires précédents, les plus susceptibles d'être contactées sur le lac de la Plate Taille et à identifier, à l'aide de carte et de notre connaissance du site, les milieux présentant vraisemblablement les plus grands intérêts. Cette première approche permet de maximiser les chances d'observer l'ensemble des espèces.

Compte tenu de la richesse spécifique peu élevée de la flore du lac de la Plate Taille, il a été entrepris la réalisation d'un inventaire exhaustif des espèces. Pour ce faire, les 16,86 kilomètres de berges du lac de la Plate Taille sont parcourus afin de recenser les espèces hydrophytes, héliophytes, amphiphytes et hygrophiles. Le recensement s'effectue de jour, de préférence avec des niveaux d'eau moyens, à pieds ou en bateau ce qui facilite l'accès aux herbiers. A chaque contact, l'espèce est soit déterminée sur place, soit prélevée pour être identifiée à la Maison wallonne de la pêche. Un GPS permet d'enregistrer la position de chaque station.

La détermination des espèces s'appuie sur divers ouvrages de référence :

- J-E De Langhe, L. Delvosalle, J. Duvigneaud, J. Lambinon et C. Vanden Berghen (1983) Nouvelle flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines – Troisième édition – Editions du Patrimoine du Jardin botanique national de Belgique, 1016 p.
- B. Bastin, J.R. De Sloover, C. Evrard et P. Moens (1996) Flore de la Belgique – Quatrième édition – Université Catholique de Louvain – Editions ARTEL, 359 p.
- R. Fitter, A. Fitter et M. Blamey (1997) Guide des fleurs sauvages – Septième édition – Les guides du naturaliste – Editions Delachaux et Niestlé, 352 p.
- R. Fitter, A. Fitter et A. Farrer (1991) Guide des graminées, carex, joncs et fougères d'Europe – Les compagnons du naturaliste – Editions Delachaux et Niestlé, 256 p.

L'inventaire s'est déroulé durant les mois de juillet et d'août à raison de six journées de terrain.

7.3.2 Résultats

L'étude a permis d'inventorier un total de 97 espèces. La liste de ces dernières ainsi qu'une monographie des principales est reprise en annexe.

7.3.3 Description des différents milieux

a) Eaux douces stagnantes (Code Corine 22)

- Eaux eutrophes (22.13)

Le lac de la Plate Taille présente une eau eutrophe variant habituellement du gris sale au bleu verdâtre, plus ou moins trouble (turbidité moyenne : 2,5 NTU), particulièrement riche en bases dissoutes puisque le pH est habituellement supérieur à 7 (pH moyen : 8). La présence en moyenne de 2,6 mg/l de nitrates témoigne d'une pollution continue essentiellement d'origine agricole (champs avoisinants le plan d'eau) ou peut-être d'origine industrielle ou urbaine. A noter un taux moyen de phosphates de 0,5 mg/l et l'absence globale de nitrites et d'ammoniac. Cette eau abrite des communautés flottantes du *Hydrocharition* et des associations de potamots des eaux libres.

- Communautés amphibies (22.3)

Les communautés amphibies du lac de la Plate Taille se développent sur les bords temporairement exondés et périodiquement inondés subissant ainsi les effets directs liés au marnage. L'habitat possède un caractère pionnier et instable manifeste, largement dépendant de la dynamique hydraulique. Ces communautés sont constituées de végétation d'espèces nitrophiles appartenant notamment aux groupements à *Bidens tripartitus*. La végétation est structurée par des espèces appartenant aux familles des brassicacées (genre *Rorippa*), des polygonacées (genre *Rumex*, *Polygonum*), des renonculacées (genre *Ranunculus*) et des lamiacées (genre *Mentha*). Ce type d'habitat est bien développé dans les anses « Fontaine aux Planes » et des « Cabiniers » (Figures 40 et 41).



Figure 40 et Figure 41 : Communautés amphibies

- Végétations aquatiques (22.4)

Les eaux, à proximité des berges, sont occupées par une végétation aquatique flottante ou constamment immergée. Des formations dominées par des Potamots (*Potamogeton lucens* (Figure 42), *Potamogeton obtusifolius*, *Potamogeton pectinatus* (Figure 43)) enracinés et immergés dont émergent souvent les épis de fleurs lorsque le niveau d'eau est bas, constituent localement des herbiers aquatiques importants. D'autres plantes subaquatiques enracinées (*Callitriche hamulata*, *Callitriche palustris*, *Zannichellia palustris subsp. palustris*) renforcent cette communauté aquatique. A noter la présence d'espèces exotiques appartenant au genre *Elodea* (*Elodea sp.*). Cette végétation enracinée immergée (Potamogetonion) se développe essentiellement dans la partie sud du lac de la Plate Taille avec notamment un herbier aquatique important dans le secteur « Fontaine aux Planes ».



Figure 42 : *Potamogeton lucens*



Figure 43 : *Potamogeton pectinatus*

b) Végétation de ceinture des bords des eaux (Code Corine 53)

- Roselières (53.1)

Les roselières avec de grandes hélophytes sont régulièrement présentes le long des berges du lac de la Plate Taille. Pour la plupart, elles sont constituées de peuplements purs de Baldingère faux-roseau (*Phalaris arundinacea*) (Figure 45) qui représente ainsi l'espèce dominante de la végétation des bords des eaux. Au nord, une formation de Massette à larges feuilles (*Typha latifolia*) compose l'unique typhaie du lac (Figure 44). Ces peuplements, très résistants à la sécheresse et à la pollution, témoignent des conditions des milieux du lac de la Plate Taille. Ponctuellement, cette végétation est associée à d'autres hélophytes telles que des Prêles d'eau (*Equisetum fluviatila*) ou des Scirpes des marais (*Eleocharis palustris*), constituant des formations basses et étendues essentiellement au niveau de la anse « Fontaine aux Planes ».



Figure 44 : Typhaie (*Typha latifolia*)



Figure 45 : Phalaridaies (*Phalaris arundinaceae*)

- Communautés à grandes laïches (53.2)

Des formations de cypéracées du genre *Carex* se développent en bordure du lac sur des sols pouvant s'assécher pendant une partie de l'année. Ces cariçaies ne sont pas dominés par une seule espèce et sont généralement associés à d'autres espèces de la zone de marnage. Localement, dans la partie sud du lac, des cariçaies (Figures 46 et 47) à Laïche des marais (*Carex acutiformis*) forment de grandes nappes, tolérantes à l'exondation. Dans cette partie, des formations à Laïche des renards (*Carex vulpina*) et à Laïche faux souchet (*Carex pseudocyperus*) sont également présentes.



Figure 46 et Figure 47 : Cariçaies

- Jonchaies hautes (53.5)

Des formations de Joncs (du genre *Juncus*) colonisent de nombreux herbiers des bords des eaux. L'abondance du Jonc diffus (*Juncus effusus*) atteste du caractère eutrophisé du site. Au total, six espèces de Joncs ont été recensées le long des berges du lac de la Plate Taille : Jonc articulé (*Juncus articulatus*), Jonc des crapauds (*Juncus bufonius*), Jonc diffus (*Juncus*

effusus), Jonc courbé (*Juncus inflexus*), Jonc noueux (*Juncus subnodulosus*), Jonc fin (*Juncus tenuis*).

c) Forêts riveraines, forêts et fourrés très humides (Code Corine 44)

La ripisylve (Figure 48) est bien présente le long des rives du lac de la Plate Taille constituant ainsi l'habitat dominant des berges. Des formations arbustives de saules forment des linéaires denses de végétation dans la partie sud du lac. Les formations arbustives ou arborescentes riveraines de saules (44.1), soumises à des inondations périodiques, représentent la majorité des boisements à bois tendre. Ainsi, les berges sont colonisées par diverses espèces de saules : Saule blanc (*Salix alba*), Saule pourpre (*Salix purpurea*), Saule marsault (*Salix caprea*), Saule cendré (*Salix cinerea*), Saule des vanniers (*Salix viminalis*)... (Figure 49). La saulaie-peupleraie est ponctuellement présente sur certaines portions. L'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), espèce hygrophile et caractéristique des berges de zones humides, est pourtant peu développé ; quelques pieds sont observés dans la anse « Fontaine aux Planes ».

Les boisements à bois tendre sont entrecoupés par des essences à bois durs telles que les Frênes (*Fraxinus excelsior*) et les Chênes (*Quercus robur*). La frênaie-chênaie, normalement en arrière de la Saulaie selon la zonation végétale, se retrouve localement sur les rives du lac et ainsi inondée périodiquement. Dans la anse « Oupia », une forêt riveraine de conifères, vestige des habitats présents avant la création du barrage, se distingue toujours mais reste limitée en superficie.



Figure 48 : Ripisylve



Figure 49 : Saulaie arborescente

d) Berges artificielles (Code Corine 80)

De nombreuses portions de berges sont aménagées pour l'accueil du public, la pratique d'activités nautiques ou encore la stabilisation des rives. Ainsi, des berges bétonnées ou enrochées sont présentes le long du lac. On trouve également des endroits mis à nu par un piétinement répété. Au niveau de ces différents secteurs, la végétation est totalement absente ou limitée à quelques espèces communes, peu intéressantes pour les communautés piscicoles.

7.3.4 Zonation végétale

Un aperçu de la zonation végétale des berges du lac de la Plate Taille est montré par une représentation schématique (schémas 1 et 2). Le schéma 1 présente la succession de la végétation depuis la zone terrestre jusqu'à la zone aquatique. Quelques espèces caractéristiques de ces milieux sont mentionnées sous chaque type d'habitat.

Les formations végétales se développant sur les berges du lac de la Plate Taille suivent le gradient hydrique et sont donc dépendantes des conditions hydro-écologiques. Ainsi, la moindre modification des conditions naturelles peut induire de très forts changements dans la structure et la composition des communautés végétales.

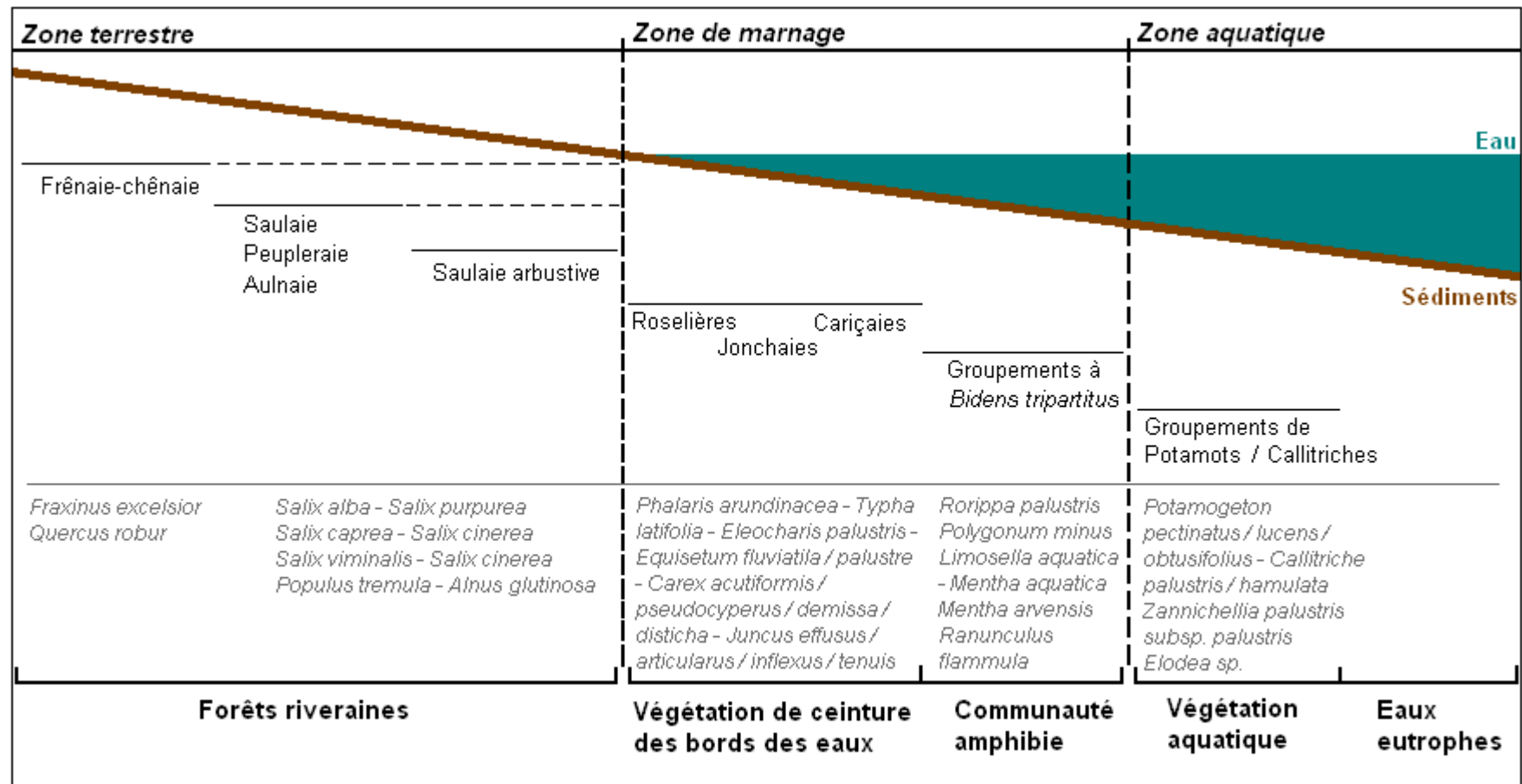


Schéma 1 : Zonation végétale des berges du lac de la Plate Taille suivant le gradient hydrique

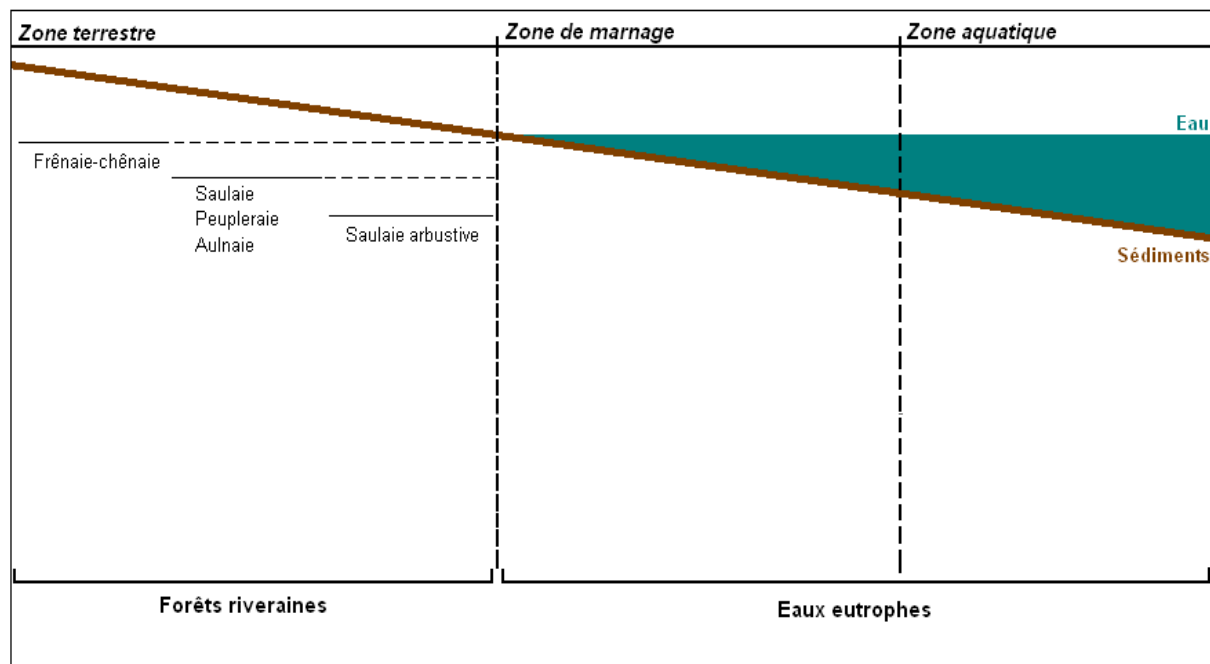
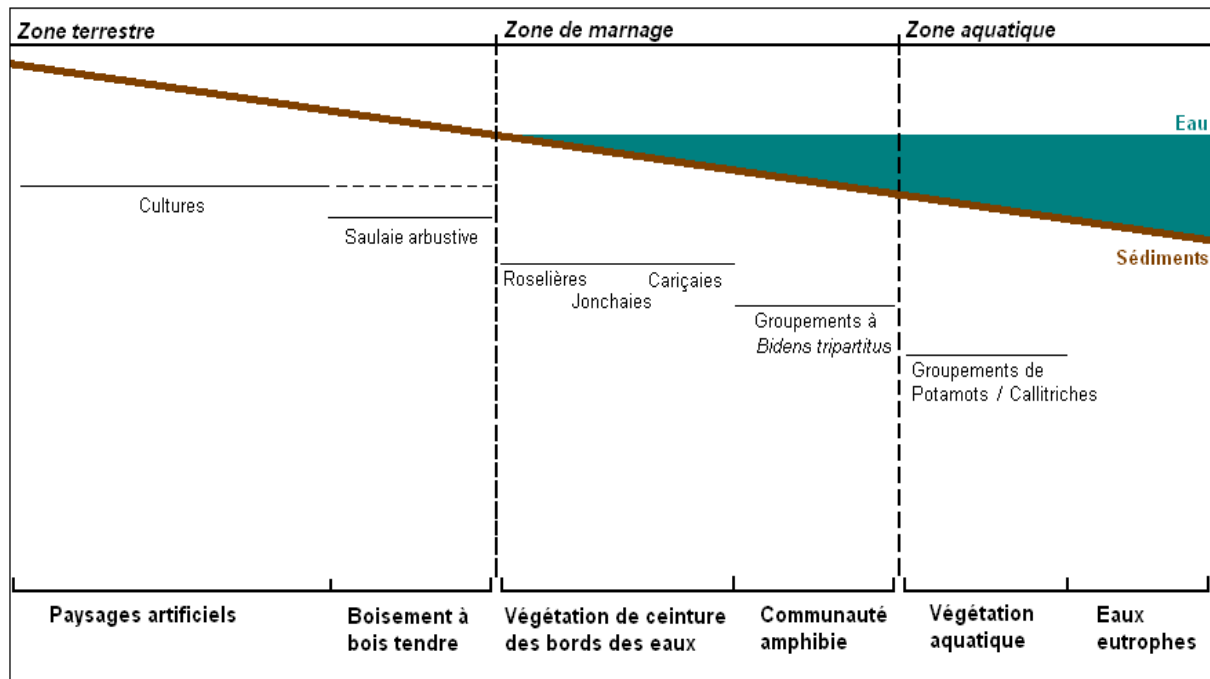


Schéma 2 : Différents types de zonation végétale des berges du lac de la Plate Taille

8 PERSPECTIVES

- **Renouvellement de l'expérience**

Le succès rencontré par l'expérience depuis sa mise en place en 2007 ne peut que nous inciter à encourager sa prolongation. Les pontes observées chaque année sur les frayères artificielles flottantes mises en place par la Maison wallonne de la pêche indique une utilisation non fortuite de ces dernières par les espèces phytophiles du lac de la Plate Taille. Les résultats obtenus confirment donc la pertinence de ce projet.

- **Frayères**

Amélioration technique des frayères

Il a été constaté qu'en cas de variation importante du niveau d'eau ou de vents puissants, les frayères artificielles subissaient une dérive plus ou moins importante. De plus, un chevauchement des frayères a été constaté, et résorbé, à plusieurs reprises, le « train » de frayères tournant sur lui-même. Dès lors, l'utilisation de lests plus importants devrait permettre de remédier à ce problème.

Brèmes

Suite à l'observation du frai des brèmes dans les différentes anses et à la mise à sec des pontes par le marnage, il serait intéressant d'installer des frayères artificielles flottantes au niveau des berges. Afin que ces dernières puissent suivre les variations du niveau d'eau, un système de poulies pourrait être envisagé. Quant au substrat utilisé, l'emploi de structures comme la fibre de coco, sur lesquelles se développeraient naturellement des joncs, reconnus comme substrat de ponte pour les brèmes au lac de la Plate Taille, constituerait la meilleure solution. A cette fin, un système d'amarrage (Figure 50) comme proposé par Gillet (1989) semble répondre aux exigences. Bien entendu, des essais devront être réalisés au préalable pour optimiser au mieux l'emploi de ce genre de frayères.

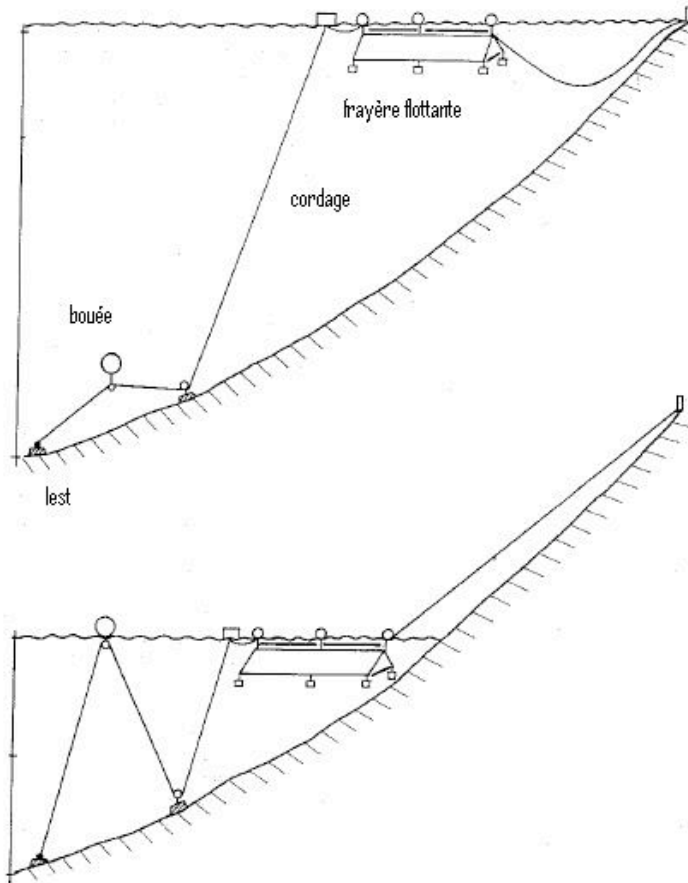


Figure 50 : Système d'amarrage potentiellement utilisable pour la reproduction de la brème (Gillet, 1989)

- **Transfert des œufs**

Les populations piscicoles des pré-barrages semblent présenter une meilleure vitalité, il serait envisageable de concentrer nos efforts à l'installation de substrats de ponte à ces endroits en vue d'un transfert ultérieur des œufs. L'emploi de houppiers élagués issus de l'entretien de la ripisylve constituerait une solution peu onéreuse. Les modalités techniques de cette opération doivent bien entendu être investiguées plus en détail pour assurer le succès de cette opération et envisager un taux de survie des œufs le plus élevé possible.

- **« Radio tracking » des femelles et mâles avant la ponte**

Le suivi par fréquences radio de brochets (quelques mâles et plusieurs femelles) équipées de microémetteurs, devrait permettre d'en savoir un peu plus, non seulement sur les migrations du brochet dans un lac soumis à des variations de niveaux, mais également de caractériser au mieux les endroits de ponte afin d'optimiser la localisation et la conception des frayères artificielles flottantes actuellement employées. De plus, en fonction des données récoltées, il pourrait être envisagé un déplacement des frayères en fonction de l'espèce ciblée,

d'autant plus que les périodes de ponte peuvent parfois être fortement décalées dans le temps, ce qui devrait favoriser le processus d'habituation à la présence des frayères de la part des populations piscicoles. Par exemple, le brochet pondra plutôt en début de printemps alors que le gardon le fera à la fin du printemps, voire au début de l'été.

- **Suivi de la végétation**

Dans le cadre de l'inventaire floristique du lac de la Plate Taille, l'effort a principalement porté sur les berges. Cependant, la présence d'herbiers aquatiques, parfois couvrant de grandes superficies, est avérée. Dès lors, il serait opportun de caractériser et de cartographier ces herbiers, dans la mesure où ils peuvent être utilisés non seulement comme substrats de ponte, mais surtout comme lieu d'accueil et d'abris pendant la période de développement des larves et des juvéniles.

- **Végétalisation**

Les résultats de cet inventaire ont permis de confirmer la présence de la plupart des plantes recensées lors des études précédentes. Ceux-ci attestent du maintien de la végétation des berges du lac de la Plate Taille au cours des années et prouvent une adaptation des espèces végétales aux conditions hydro-écologiques du site. Ainsi, les espèces développées sont totalement capables de faire face aux fluctuations quotidiennes et saisonnières du niveau des eaux. La conservation de ces ceintures végétales lacustres est d'autant plus importante qu'il est largement reconnu que ces herbiers ont un rôle clé dans le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème (Blindow *et al.*, 1993 ; Scheffer *et al.*, 1993 ; Moss *et al.* 1997 ; Jeppesen *et al.*, 1998 ; Scheffer, 1998 ; van Donk 1998; Paillisson & Marion, 2002).

Le lac de la Plate Taille abrite des herbiers aquatiques et une végétation amphibie relativement remarquables compte tenu des conditions du milieu et de la pression des activités anthropiques sur ces habitats. Les herbiers de Potamots et de Callitriche fournissent un milieu pour le frai et la croissance des jeunes poissons quant à la végétation des bords des eaux, elles offrent d'importants habitats pour les petits poissons et les juvéniles des espèces plus grandes. Ainsi, malgré une richesse spécifique moyenne, cette végétation semblerait correspondre aux besoins des poissons pour leur reproduction et leur croissance. Cependant, la végétation reste cantonnée sur des parties de berges assez restreintes sur la rive sud du lac. Il est nécessaire de suivre et de conserver ces milieux non seulement pour conserver des milieux propices à l'ichtyofaune mais aussi pour maintenir un bon état et équilibre écologique du site.

Plusieurs actions concrètes peuvent ressortir de cette étude. Il convient de concilier maintien de la végétation des bords des eaux et utilisation du site par le public. Deux secteurs

mériteraient une attention particulière : la anse « Fontaine aux Planes » et la anse des « Cabiniers ». En effet, les herbiers de ces sites présentent un grand intérêt pour la faune piscicole. Il est nécessaire de les conserver notamment en limitant le piétinement et les autres dégradations liées à la fréquentation du public. Pour ce faire, il pourrait, d'une part, être envisagé de restreindre l'accès aux berges et, d'autre part, de communiquer auprès du public par des panneaux informatifs. De plus, un suivi régulier de la végétation doit être régulièrement réalisé afin d'appréhender l'évolution des habitats mais aussi de prévenir les risques de dégradations. Enfin, des essais de végétalisation pourraient être envisagés à titre d'expérimentation afin de favoriser l'expansion des espèces spontanées dans les secteurs favorables.

Des espèces bien implantées sur les berges du lac de la Plate Taille et donc adaptées aux conditions hydro-écologiques peuvent être sélectionnées pour les essais de végétalisation. Il s'agit d'espèces pouvant offrir des substrats de ponte adaptés pour les poissons phytophiles et possédant un appareil végétatif bien développé, idéal pour servir de zones de refuges pour les alevins.

- **Sensibilisation du public**

Les pêcheurs et le grand public doivent être informés de la réalisation de telles expériences. Le site internet de la Maison wallonne de la pêche continuera à être alimenté par des articles relatant le déroulement de nos activités dans le domaine des frayères artificielles et les résultats obtenus. Cependant, il serait sans doute opportun de placer des panneaux didactiques au niveau du lac de la Plate Taille et plus particulièrement le long du Ravel à proximité des emplacements des frayères artificielles et des radeaux végétalisés.

9 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 le lac de la Plate Taille en empêchant le développement de la végétation aquatique rivulaire indispensable pour le dépôt des œufs.

La mise en place de frayères artificielles flottantes apporte une réponse à ce problème en offrant un substrat de ponte assurant la reproduction des différentes espèces ciblées. Depuis 2007, ce sont plusieurs millions d'œufs de gardons et des milliers d'œufs de brochets qui ont été déposés sur ces structures, apportant la preuve de l'efficacité de ce genre de dispositif. Le colmatage nécessite une attention particulière mais ne compromet pas leur utilisation.

Le bien fondé de la démarche de mise en place de frayères artificielles flottantes a permis à la Maison wallonne de la pêche asbl de franchir une étape supplémentaire dans sa réflexion sur l'aide au recrutement naturel des espèces phytophiles du lac de la Plate Taille. En effet, après les pontes, ce sont les larves et leur devenir qui ont été pris en compte. Ainsi, des radeaux végétalisés ont été installés à proximité des frayères. Ces structures, par l'intermédiaire d'espèces végétales puisant leur nourriture directement dans l'eau et donc y développant un système racinaire complexe, offrent un milieu de vie propice au développement des larves de poissons en leur fournissant un refuge et une zone d'alimentation.

Enfin, un inventaire floristique des plantes aquatiques naturellement présentes sur les rives de la Plate Taille a mis en évidence l'importance de cette végétation dans le cycle de vie des poissons ciblés par le projet et ouvre la voie d'une végétalisation des berges, complémentaire à l'utilisation des frayères artificielles.

10 BIBLIOGRAPHIE

- Adelman L. & Smith L. (1970). Effect of hydrogen sulfide on northern pike eggs and sac fry. *Transactions of the American Fisheries Society* **99**: 501-509.
- 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. (1998). Aménagement piscicole des eaux douces, 5e édition, Lavoisier TEC & DOC, 589 pp.
- Baczowska E. (1965). The food and feeding of perch (*Perca fluviatilis* L.) in lakes Leginskie and Pasterzewo. *Zesz. Nauk. WSR Olsztyn* **20**: 233-243.
- Bain M. & Mills K. (2004). Modeling Hydroecological Relations for Assessing Impacts of Water Regulation Plans on Lake Ontario. Environmental Technical Working Group, International Joint Commission's Lake Ontario, St-Lawrence River Study Board.
- Barroin G. In: Grosclaude G. (1999). L'eau: usage et polluants, INRA Editions, tome II.
- Barus V. & Oliva O. (1995). Lampreys Petromyzontes and Fish Osteichthyes (2). Academia, Prague, 698 pp.
- 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**: 274-283.
- Billard R. (2005). Introduction à l'aquaculture. Editions Tec & Doc, 234 pp.
- Biro P., Suhad E. Sadek & Paulovits, G. (1991). The food of bream (*Abramis brama* L.) in two basins of Lake Balaton of different trophic status. *Hydrobiologia* **209**: 51-58.
- Blindow I., Andersson G., Hargeby A. & Johansson S. (1993). Long-Term Pattern of Alternative Stable States in 2 Shallow Eutrophic Lakes. *Freshwater Biology* **30**, n°1: 159-67.
- 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** : 706-714.
- Bohl E. (1980). Diel pattern of pelagic distribution and feeding in planktivorous fish. *Oecologia* **44**: 368-375.
- Brock T.C.M., Arts G.H.P, Goossen I.L.M. & Rutenfrans A.H.M. (1983). Structure and annual biomass production of *Nymphoides peltata* (Gmal.) O. Kuntze (Menyanthaceae). *Aquat. Bot.* **17**: 167-188.

- Bruslé J. & Quignard J-P. (2001). Biologie des poissons d'eau douce européens. Collection aquaculture-pisciculture. Lavoisier TEC & DOC, 625 pp.
- 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., & 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**: 99-113.
- Bryan S.D., Hill T.D., Lynott S.T. & Duffy W.G. (1995). The influence of changing water levels and temperatures on the food-habits of walleye in lake Oahe, South-Dakota. *J. FreshWater Eco.* **10** (1): 1-10.
- Carpenter S. R. & Lodge D.M. (1986). Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquat. Bot.* **26**: 341-370.
- Carpenter S.R. & Greenlee J.K. (1981). Lake deoxygenation after herbicide use: a simulation model analysis. *Aquat. Bot.* **11**: 173-186.
- Casselman J. & Harvey H. (1973). Fish traps of clear plastic. *Prog. Fish-Cult.* **35**: 218-220.
- Casselman J.M., & Lewis C.A. (1996). Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53** (Suppl.1): 161-174.
- Cazemier W.G. (1975). Onderzoek naar de oorzaken van groeiverschillen bij brasem (*Abramis brama* L.) (A study concerning the causes of differences in growth rate of bream). *Visserij* **28**: 197-207.
- Cazemier W.G. (1982). The growth of bream (*Abramis brama* L.) in relation to habitat and population density. *Hydrobiological Bulletin* **16**: 269-277.
- 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 pp.
- Cech M., Peterka J., Riha M., Juza T. & Kubecka J. (2009). Distribution of egg strands of perch (*Perca fluviatilis* L.) with respect to depth and spawning substrate. *Hydrobiologia* **630**: 105-114.
- Chancerel F. (2000). Comment restaurer des frayères à brochets. *Eaux libres* **27**, 28-31.
- Chancerel F. (2003). Le brochet biologie et gestion. Collection Mise au Point. Conseil Supérieur de la Pêche, 199 pp.
- Chapman C. & Mackay W. (1984a). Direct observation of habitat utilization by northern pike. *Copeia* **1984**(1): 255-258.
- Chapman C. & Mackay W. (1984b). Versatility in habitat use by a top aquatic predator, *Esox lucius*. *Journal of Fish Biology* **25**: 109-115.

- Clady M.D. (1976). Influence of temperature and wind on the survival of early stages of yellow perch, *Perca flavescens*. *J. Fish. Res. Board can.* **33**: 1887-1893.
- 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**: 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**: 683-692.
- Copp G. (1992). Comparative microhabitat use of cyprinid larvae and juveniles in a lotic floodplain channel. *Environmental Biology of Fishes* **33**: 181-193.
- 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**: 153-164.
- Copp G. (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.G. (1983). The biology of bream, *Abramis brama* (L), and its natural hybrid with roach, *Rutilus rutilus* (L), in the River Exe. *J. Fish Biol.* **22**: 631-646.
- Craig, J. (1992). Pike : biology and exploitation. London: Chapman & Hall, 298 pp.
- Craig J.F & Kipling C. (1983). Reproduction effort versus the environment—case-histories of Windermere perch, *Perca fluviatilis* L, and pike, *Esox lucius* L. *J. Fish Biol.* **22**: 713–727.
- Craig J.F. (1978). A study of the food and feeding of perch in Windermere. *Fresh. Biology* **8**: 59-68.
- Craig J.F. (1996). Pike, biology and exploitation. London, Chapman & Hall, Fish and Fisheries Series **19**: 298 pp.
- Dawson F.H. (1978). The seasonal effects of aquatic plant growth on the flow of water in a stream. EWRS 5th Symp. on Aquatic Weeds, 71-78.
- De Nie H.W. (1987). The decrease in aquatic vegetation in Europe and its consequences for fish populations. EIFAC/CECPI Occasional paper No.19, 52 pp.
- Diamond D. (1985). Some observations of spawning by roach *Rutilus rutilus* and bream *Abramis brama* 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**: 560-565.

Dörner H., Wagner A. & Benndorf J. (1999). Predation by piscivorous fish on age-0 fish: spatial and temporal variability in a biomanipulated lake (Bautzen reservoir, Germany). *Hydrobiologia* **408/409**: 39-46.

Dubé J. & Gravel Y. (1978). Plan pilote d'aménagement intégré des ressources biologiques du territoire de la frayère du ruisseau Saint-Jean, Comté du Châteaugay, Québec. Ministère du Tourisme de la Chasse et de la Pêche, Montréal.

Duvigneaud J. & Havrenne A. (1985). La colonisation végétale des lacs de l'Eau d'Heure (Entre-Sambre-et-Meuse, Belgique). *Natura Mosana* **38** : 4-10.

Duvigneaud J. & Saintenoy-Simon J. (1995). Une excursion automnale aux lacs de l'Eau d'Heure (Entre-Sambre-et-Meuse, Belgique). *Parcs nationaux* **50** : 55-62.

Dziekonska J. (1956). Studies on embryonic development of fish. Observations on the spawning and the embryonic development of bream in the Vistula Lagoon. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **3**: 291-305.

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

Eklöv P. (1997). Effects of habitat complexity and prey abundance on the spatial and temporal distributions of perch (*Perca fluviatilis*) and pike (*Esox lucius*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**: 1520–1531.

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

Fabricius E. (1951). The topography of the spawning bottom as a factor influencing the size of the territory in some species of fish. Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm **32**: 43-49.

Fabricius E. & Gustafson K.J. (1958). Some new observations on the spawning behaviour of the pike, *Esox lucius* L. Report of the Institute of Freshwater Research, Drottningholm, **39**: 23-54.

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

Forney, J.L. (1971). Development of dominant year classes in a yellow perch population. *Trans. Amer. Fish. Soc.* **100**: 739-749.

Forney J.L. (1977). Evidence of inter- and intra specific competition as factors regulating walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) biomass in Oneida Lake, New York. *J. Fis. Res. Board Can.* **34**: 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** : 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* **66**, 96pp.
- 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** : 651-693.
- Fuhrman O. (1934). Le brochet, sa nourriture et sa croissance. *Bulletin suisse de la Pêche et de la Pisciculture* **3** : 7-33.
- 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.
- Fuiman L. (1989). Vulnerability of Atlantic herring larvae to predation by yearling herring. *Marine Ecology Progress Series* **51**: 291-299.
- Furey P.C., Nordin R. N. & Mazumder A. (2006). Littoral benthic macroinvertebrates under contrasting drawdown in a reservoir and a natural lake. *J. N. Am. Benthol. Soc.* **25(1)**: 19-31.
- Gaboury M.N. & Patalas W. (1984). Influence of water drawdown on the fish populations of cross Lake, Manitoba. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **41**: 118-125.
- Gafny S., Gasith A. & Goren M. (1992). Effect of water level fluctuation on shore spawning of *Mirogrex terraesanctae* (Steinitz), (Cyprinidae) in Lake Kineret, Israel. *Journal of Fish Biology* **41**: 863-871.
- 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**: 137-154.
- Gaudet J.J. (1974). The normal role of vegetation in water. In: Aquatic vegetation and its use and control. (ED. D.S. Mitchell). Unesco, Paris, 24-31.
- 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** : 7-16.
- Gerasimov Yu. V. (2007). Intrapopulation Spatial Segregation in Bream (*Abramis brama*) and Roach (*Rutilus rutilus*) in the Rybinsk Reservoir. *Russian Journal of Ecology* **38**: 430-435.
- Gerasimov Yu.V. & Linnik, V.D. (1993). Condition of Establishment of Individual Fattening Areas in Fish, *Ekologicheskie faktory prostranstvennogo raspredeleniyai peremeshcheniya gidrobiontov* (Ecological Factors Determining the Spatial Distribution and Movements of Hydrobionts), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 211-259.
- Gerstmeier R. & Romig, T. (2003). Die Süßwasserfische Europas. Kosmos, Stuttgart.
- Gühr M. (1957). Zur entwicklung des hetches. *Revue suisse de Zoologie* **64** : 355-474.

Gillet C. & Quélin P. (2006). Effect of temperature changes on the reproductive cycle of roach in Lake Geneva from 1983 to 2001. *Journal of Fish Biology* **69**: 518-534.

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. *Hydrobiologica* **300/301**: 409-15.

Gillet C. & Dubois J.P. (2007). Effect of water temperature and size of females on the timing of spawning of perch *Perca fluviatilis* L. in Lake Geneva from 1984 to 2003. *J. Fish Biol.* **70**: 1001-14.

Gillet C. (1989). Réalisation de frayères artificielles flottantes pour les poissons lacustres (brochet, perche, cyprinidés). *Hydroecol. Appl.* **1**: 145-193.

Gilliand E. R. & Boxrucker J. (1995). Species-specific guidelines for stocking reservoirs in Oklahoma. p. 144-151 in H. L. Schramm, Jr. and R. G. Piper [eds.]. Uses and Effects of Cultured Fishes in Aquatic Ecosystems. *American Fisheries Society Symposium* **15**: 12-17.

Gögge W. (2006). EAWAG; système modulaire gradué; Méthodes pour l'appréciation des cours d'eau en Suisse. <http://www.modul-stufen-konzept.ch/seiten-f/mzb-f.htm>

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**: 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**: 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: 125-156.

Grimm, M.P. (1981). The composition of northern pike (*Esox lucius* L.) populations in four shallow waters in the Netherlands with special reference to factors influencing 0+ pike biomass. *Fish. Mgmt.* **12**: 61-77.

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

Grosch U.A. (1980). The significance of waterside vegetation for fish and fisheries. *Garten und Landschaft* **1**: 6-9.

Guma'a, S.A. (1978). The effects of temperature on the development and mortality of eggs of perch *Perca fluviatilis*. *Freshwater Biol.* **8**: 221-227.

Haberlehner E. (1988). Comparative analysis of feeding and schooling behaviour of cyprinidae *Alburnus alburnus* L., *Rutilus rutilus* L. and *Scardinius erythrophthalmus* L. in abackwater of the Danube near Vienna. *Int. Review of Hydrobiology* **73**: 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**: 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**: 1-13.
- Hartley P.H.T. (1947). The natural history of some British freshwater fish. *Proc. zool. SOC. Lond.* **117**: 129-206.
- Hartmann J. (1974). Der Barsch (*Perca fluviatilis*) in eutrophierten Bodensee – (MS.) Lagenargen, Staatl. Inst. F. Seenforschung 27.
- Hartmann J. (1983). Two feeding strategies of young fishes. *Archives of Hydrobiology* **96**: 496-509
- Hartmann J. & Nümann W. (1977). Percids of Lake Constance, a lake undergoing eutrophication. *J. Fish. Res. Board Can.* **34**: 1670-1677.
- 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**: 369-375.
- Hawes I. (2003). Water level fluctuations in Lake Rotoiti and their ecological implications. Report made by NIWA, 7pp.
- Herman D. (1993). Suivi du fonctionnement des frayères artificielles des lacs de Robertville et de Warfaaz. Rapport à la Commission Provinciale Piscicole de Liège : 6-40.
- Herzig A. & Winkler H (1985). The influence of temperature on the embryonic development of cyprinids. *Osterreichs Fischerei* **38**: 182-196.
- Herzig, A. & Winkler, H. (1986). The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides mento* and *Vimba vimba*. *J. Fish Biol.* **28**: 171-181.
- Hess L. & Heartwell C. (1979). Literature review of large esocids. Gouvernement du Québec, Direction de la Recherche Faunique **52**: 139-181.
- Hladik M. & Kubecka J. (2004). The effect of water level fluctuation on tributary spawning migration of reservoir fish. *Ecohydrology & Hydrobiology* **4**: 449-457.
- 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**: 89-100.
- Hokanson K & Kleiner C. (1975). Effects of constant and rising temperatures on the survival and development rates of embryonic and larval yellow perch *Perca flavescens* (Mitchill): 437-448.
- Holland L. E. & Huston M.L. (1984). Relationship of young-of-the-year northern pike to aquatic vegetation types in backwaters of the upper Mississippi River. *N. Am. J. Fish. Manage.* **4**: 514-522.

- Hosn W.A. & Downing J.A. (1994). Influence of cover on the spatial distribution of littoral-zone fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **51**: 1832–8.
- Howard-Williams C. (1981). Studies on the availability of a *Potamogeton pectinatus* community to remove dissolved nitrogen and phosphorus compounds from lake water. *J. Appl. Ecol.* **18**: 619-637.
- Hudon C. (1997). Impact of water level fluctuations on St-Lawrence River aquatic vegetation. St. Lawrence Center, Environment Canada, 105 McGillST, 7th floor, Montréal, Qc H2Y 2E7, Canada.
- Hudon C., Gagnon P., Amyot J., Létourneau G., Jean M., Plante C., Rioux D. & Deschênes M. (2005). Historical changes in herbaceous wetland distribution induced by hydrological conditions in Lake Saint-Pierre (St. Lawrence River, Quebec, Canada). *Hydrobiologia* **539**: 205–224.
- Huet M. (1983). *Traité de pisciculture*, 3e 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** : 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, 262 p.
- Inskip P. (1982). Habitat suitability index models: northern pike. *U.S. Fish Wild. Serv.* **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**: 1207-1219.
- Jacobsen J., Berg S., Broberg M., Jepsen N. & Skov C. (2002). Activity and food choice of piscivorous perch (*Perca fluviatilis*) in a eutrophic shallow lake, investigated by radio-telemetry. *Freshwat. Biol.* **47**: 2370-2379.
- Jafri S. (1990). Gametogenesis in roach, *Rutilus rutilus*. *Pakistan Journal of Zoology* **22**: 361- 377.
- Jeppesen E., Søndergaard M., Søndergaard M. & Christoffersen K. (1998). *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Springer Verlag, New York.
- Jepsen N. & Berg S. (2002). The use of winter refuges by roach tagged with miniature radio transmitters. *Hydrobiologia* **483**: 167-173.
- Johnson F. (1957). Northern pike year-class strength and spring water levels. *Transactions of the American Fisheries Society* **86**: 285-293.
- Johnson T., Bennett A. & McLister J. (1996). Thermal dependence and acclimation of fast start locomotion and its physiological basis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Physiological Zoology* **69**: 276-292.

Jones D.H (1981). The spawning of perch (*Perca fluviatilis* L.) in Loch Leven, Kinross, Scotland. *Fisheries Management* **13**: 139-151.

Juget J. & Rostan J. C. (1973). Influence des herbiers à *Trapa natans* sur la dynamique d'un étang en période estivale. *Annales de Limnologie* **9**: 11-23.

Kafemann R., Thiel R., Finn J.E. & Neukamm R. (1998). The role of freshwater habitats for the reproduction of common bream *Abramis brama* (L.) in a brackish water system. *Polskie Archiwum Hydrobiologii* **45**: 225-244.

Kelso, J.R.M. & Minns C.K. (1996). Is fish species richness in the Canadian Great Lakes sites the result of local or regional factors? *Can. J. Fish. Aquat. Sci. Suppl.* **53**: 175-193.

Krause J., Staaks G. & Mehner T. (1998). Habitat choice in shoals of roach as function of water temperature and feeding rate. *Journal of Fish Biology* **53**: 377-386.

Kennedy M. & Fitzmaurice P. (1968). The biology of the bream *Abramis brama* (L.) in Irish waters. *Proceedings of the Royal Irish Academy* **67B**: 95-157.

Kitchell J.F. & Koshinsky, G.D. (1996). Review of Proposed Changes in Water Level Regulation for Rainy and Namakan Lakes: Their Consequent Ecological Effects on Fisheries and Related Aquatic Ressources. Independent assessments for the International Steering Committee.

Kokurewicz B. (1971). Thermal conditions for spawning and development for chosen fish species. *Broszura Instytutu Rybactwa Śródlądowego* **47**: 1-18.

Korzelecka A., Bonislawska M. & Winnicki A. (1998). Structure, size and spatial distribution of perch (*Perca fluviatilis* L.) egg components during incubation. *Electron. J. Polish Agric. Univ.* **1**: 5.

Kozlovskij S.V. (1991). Observations of roach and bream spawning behaviour in the Saratov Reservoir. *Journal Ichthyol.* **31**: 876-878.

Krause J., Staaks G. & Mehner T. (1998). Habitat choice in shoals of roach as a function of water temperature and feeding rate. *J. Fish. Biol* **53**: 377-386.

Kryzhanovskiy I.V. (1984). Fecundity dynamics of bream, *Abramis brama*, from Kremenchug reservoir. *Hydrobiology Journal* **2**: 100-101.

Kucharczyk D. (1997). Effect of temperature on embryonic and larval development of bream (*Abramis brama* L.). *Aquatic Sciences* **59**: 214-224.

Kuznetsov V.A. (1973). The fecundity and quality of eggs of bream (*Abramis brama* L.). *Journal Ichthyol.* **13**: 669-677.

Lammens E. H. R. R. (1982). Growth, condition and gonad development of bream (*Abramis brama* L.) in relation to its feeding conditions in Tjeukemeer. *Hydrobiologia* **95**: 311-320.

Lappalainen J. & Tarkan A.S. (2007). Latitudinal gradients in onset date, onset temperature and duration of spawning roach. *Journal of Fish Biology* **70** : 441-450.

Leroy M.J. (1983). Les ballastières, gravières et sablières. Bulletin de liaison du Conseil Supérieur de la Pêche **30** : 19-37.

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** : 22-23.

Luksiene D. & Sandstrom O. (1994). Reproductive disturbance in a roach (*Rutilus rutilus*) population effected by cooling water discharge. *Journal of fish biology* **45**: 613-625.

Luksiene D. (1986). Gametogenesis and sexual cycles of fish. In: Thermal power generation and environment: Basic state and aquatic animal populations and communities in lake Druksiai, Mokslas publishers, Vilnius, Vol. 5.

Maitland P.S. & Campbell R.N. (1992). Freshwater Fisheries. London: Harper Collins, 218 pp.

Major L., Pettigrew P. & Collin P-Y. (2001). Caractérisation ichthyologique du lac Saint-François et état de la population de dorés jaunes (*Stizostedion vitreum*), 1998-2000. Société de la faune et des parcs du Québec ; Direction de l'aménagement de la faune de la Chaudière-Appalaches. 28pp.

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

Mansour N., Lahnsteiner F. & Patzner R.A. (2009). Ovarian fluid plays an essential role in attachment of Eurasian perch, *Perca fluviatilis* eggs. *Theriogenology* **71**: 586-593.

Manteifel B.P., Girsal L.L. & Pavlov D.S. (1978). On rhythmic activity of fish behaviour. In : Rhythmic activity of fishes. J.E. Thorpe éd., Academic Press, N.Y., 31-53.

Margenau T.L., Rasmussen P.W. & Kampa J.M. (1998). Factors affecting growth of northern pike in small northern Wisconsin lakes. *North American Journal of Fisheries Management* **18**: 625-639.

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 Resources* **4**: 275-287.

Mc Carraher D. & Thomas R. (1972). Ecological significance of vegetation to northern pike spawning. *Transactions of the American Fisheries Society* **101**: 560-563.

MET (1997). Quand les barrages prennent... l'Eau d'Heure. *Les cahiers du MET* **7**, 68pp.

MET (2007). La centrale hydroélectrique de la Plate Taille. *Les cahiers du MET* **25**, 60pp.

Mills C.A. & Mann R.H.K. (1985). Environmentally-induced fluctuations in year class strength and their implications for management. *Journal of Fish Biology* **27**: 209-226.

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* **37(6)** : 34-43.

Minns C.K., Randall R.G., Moore J.E., & Cairns V.W. (1996). A model simulating the impact of habitat supply limits on northern pike, *Esox lucius*, in Hamilton Harbour, Lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **53(Suppl 1)**: 20-34.

Moss B., Madgwick J. & Phillips G. (1997). A Guide to the Restoration of Nutrient-enriched shallow Lakes. Wetlands International Publications, Norfolk.

Moss B. (1979). Problems of the Norfolk Broads and their impact on freshwater fisheries. *Proc. 1st Brit. Freshw. Fish. Conf.*: 67-85.

Muus B.J. & Dalhstrøm P. (2003). Guide des poissons d'eau douce et de pêche. Delachaux et Niestlé, 224 pp.

Nash K.T., Hendry K. & Cragg-Hine D. (1999). The use of brushwood bundles as fish spawning media. *Fisheries Management and Ecology* **6**: 349-355.

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

Nemry A., Bes M. & Rollin X. (2007). 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. Maison wallonne de la pêche, 130 pp.

Noble R.L. (1971). Analysis of year class formation in a yellow perch population. New York Federal Air Project F-17-R-15 (report for Job 1-b), N.Y. State Dep. Env. Conserv. (Mimeo).

Noges P. & Jarvet A. (2005). Climate driven changes in the spawning of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) and bream (*Abramis brama* (L.)) in the Estonian part of the Narva River basin. *Boreal Environment Research* **10**: 45-55.

Okun N. & Mehner T. (2005). Distribution and feeding of juvenile fish on invertebrates in littoral reed (*Phragmites*) stands. *Ecology of Freshwater Fish* **14**: 139-149.

Olden J. D. & Jackson D. A. (2001). Fish-Habitat Relationships in Lakes : Gaining Predictive and Explanatory Insight by Using Artificial Neural Networks. *Am. Fisheri. Soc.* **130**: 878-897.

Otto-Bruc C. (2001). Végétation des étangs de la Brenne, influence des pratiques piscicoles à l'échelle des communautés végétales et sur une espèce d'intérêt européen : *Caldesia parnassifolia* (L.), Paris, MNHN, thèse de doctorat, 432 pp.

Ouellet (1998). Caractérisation des effluents de stations piscicoles québécoises. MAPAQ, Innovation et technologies, Doc. Rech. 98/06.

P'yanov A.I. (1992). Distribution of Bream (*Abramis brama* L.) in a Riverbed Reservoir (an Example of Votkinsk Reservoir), Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation , Moscow: Inst. Evol. Morfol. Ekol. Zhiv., Russian Akad. Sci.

Paillisson J.M. & Marion L. (2002). Functions and management of floating vegetation in a eutrophic lake ecosystem: assessment after two decades, in: Conservatoire du Patrimoine Naturel de la Savoie (Ed.). Management and Conservation of Lake Littoral Vegetation, Le Bourget du Lac: 179-192.

Paxton C.G.M. & Willoughby L.G. (2000). Resistance of perch eggs to attack by aquatic fungi. *J. Fish Biol.* **57**: 562-70.

Peckan-Hekim Z. (2007). Effects of turbidity on feeding and distribution of fish. Thèse de doctorat - Department of Biological and Environmental Sciences University of Helsinki. Finland

Pedicillo G., Merulli F., Carosi A., Viali P. & Lorenzini M. (2008). The use of artificial spawning substrates as media to support the reproduction of Eurasian perch in Lake Piediluco. *Hydrobiologia* **609**: 219-223.

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**: 118-125.

Persson L., Diehl S., Johansson L., Andersson G. & Harmin S.F. (1991). Shifts in fish communities along the productivity gradient of temperature lake – patterns and the impact of size-structured interactions. *J. Fish Biol.* **38**: 281-293.

Philippart J.C. (1989). Ecologie des populations de poissons et caractéristiques physiques et chimiques des rivières dans le bassin de la Meuse belge. *Bulletin de la Société Géographique de Liège* **25**: 175-198.

Pinder, A. C. (2001). Keys to larval and juvenile stages of coarse fishes from fresh waters in the british isles. Freshwater biological association scientific publication, 136 pp.

Pinus G.N. & Spivak E.G. (1981). Some aspects of the biology and fishery for the bream *Abramis brama* (L.) in Lake Lacha. *Voprosy Ikhtyologii* **21**: 985-989.

Pokorny J., Rejmankova E. (1983). Oxygen regime in a fish pond with duckweeds (Lemnaceae) and Ceratophyllum. *Aquatic Botany* **17**: 125-137.

Poncin P. (1996). Reproduction chez nos poissons. Le pêcheur belge. Fédération sportive des pêcheurs francophones de Belgique. 80 pp.

Poncin P., Philippart J. C. & Ruwet J. C. (1996). Territorial and non-territorial spawning behaviour in the bream. *Journal of Fish Biology* **49**: 622-626.

Prejs A. (1984). Herbivory by temperate freshwater fishes and its consequences. *Environ. Biol. Fish. Soc.* **114**: 97-106.

- Probst W.N. (2009). Lake water level increase during spring affects the breeding success of bream *Abramis brama* (L.). *Hydrobiologia*.
- Probst W.N., Stoll S., Hofmann H., Fisher P. & Eckmann R. (2009). Spawning site selection by Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) in relation to temperature and wave exposure. *Ecology of Freshwater Fish* **18**: 1-7.
- 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. 2e semestre 1968-1969. Université de Moscou : 53-56.
- Reznitchenko P. (1976). Règles générales de l'influence du facteur thermique sur l'embryogénèse des poissons. Compte-rendu de la 2e conférence de Kiev. 1re 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**: 101-106.
- Rosenberg D. M., McCully P. & Pringle C. M. (2000). Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction. *BioScience* **50**.
- Rougeot C., Fontaine P. & Mandiki S.M.N. (2008). Perch Description and Taxonomy. *In* : Aquaculture Explained. Farming of Eurasian Perch, vol.1: juvenile production. BIM, 82 pp.
- Royer L. (1971). Comparative production of pike fingerlings from adult spawners and from fry planted in controlled spawning marsh. *The Progressive Fish-Culturist* **33** : 153-155.
- Saintenoy-Simon J. (1996). Les zones humides d'intérêt biologique de la Région wallonne. *Ministère de la Région Wallonne*.
- Scheffer M., Hosper S.H., Meijer M.L., Moss B. & Jeppesen E. (1993). Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends Ecology Evolution* **8** : 275-279.
- Scheffer M. (1998). Ecology of Shallow Lakes. Chapman and Hall, London.
- Schlumberger O. & Gouy S. (1998). Valorisation des étangs de Dordogne. Rapport CEMAGREF, 27 pp.
- Schlumberger O. (2002). Mémento de pisciculture d'étang. Paris. Cemagref Editions, 238 pp.
- 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.

- Schroder T. (1979). Aspekte der ökologie von Frühentwicklungsstadien einiger fischarten in alterheim und labor. Thèse de la Goethe University, Frankfurt, 100 pp.
- Schulze T. (2006). Determinants of habitat use in large roach. *Journal of Fish Biology* **69**: 1136-1150.
- Siefert R.E., Spoor W.A. & Syrett R.F. (1973). Effects of reduced oxtgen concentrations on northern pike (*Esox lucius*) embryos and larvae. *J. Fish. Res. Board Can.* **30** : 849-852.
- Skora S. (1964). Growth and feeding of perch (*Perca fluviatilis* L.) in the Kozłowa Gora Dam Reservoir. *Acta Hydrobiol.* **1**: 271-300.
- Smart R.M. & Dick G.O. (1999). Propagation and establishment of aquatic plants: A handbook for ecosystem restoration projects. APCRP Technical Notes Collection (Tec. Report A-99-4). US. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, MS. 26 pp.
- 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 : 21-37.
- Staaks G. (1996). Experimental studies on temperature preference behaviour of juvenile cyprinids. *Limnologica* **26**: 165-177.
- Staat T. & Veersalu A. (1996). The rate of early development in perch *Perca fluviatilis* L. and ruffe *Gymnocephalus cernuus* (L.) at different temperatures. *Ann. Zool. Fennici* **33**: 693-698.
- Stoner A. & Livingston R. (1984). Ontogenic patterns in diet and feeding morphology in sympatric sparid fishes from seagrass meadows. *Copeia* **1984**: 174-187.
- Swift D.R (1965). Effect of temperature on mortality and rate of development of the eggs of the pike *Esox lucius* L. and the perch *Perca fluviatilis* L. *Nature* **206**: 528.
- Symoens J. J., Burgis M. & Gaudet J. J. (1982). Ecologie et utilisation des eaux continentales africaines. *Ser. tech. PNUE* (**1**), 212 pp.
- Terlecki J. (1991). Perch (*Perca fluviatilis*). Freshwater fishes of Poland. PWN, Warszawa.
- Thorphe J. (1977). Synopsis of biological data on the perch *Perca fluviatilis* L. and *Perca flavescens* Mitch. FAO Fisheries Synopsi, Rome, 138 pp.
- Tierney D., Donnelly R.E., Caffrey J.M. (1999). Growth of bream, *Abramis brama* (L.), in Irish canals and implications for management. *Fisheries Management and Ecology* **6**: 487-498.
- Titus J. E. & Adams M.S. (1979). Comparative carbohydrate storage and utilization patterns in the submersed macrophytes, *Myriophyllum spicatum* and *Vallisneria americana*. *Amer. Midl. Nat.* **102**: 263-272.
- Treasurer J.W. (1981). Some aspects of the reproductive biology of perch *Perca fluviatilis* L. Fecundity, maturation and spawning behavior. *J. Fish. Res. Board. Can* **20**: 1067-1079.

- Treasurer J.W. (1988). The distribution and growth of lacustrine 0+ perch, *Perca fluviatilis*. *Environmental Biology of Fishes* **21**: 37-44.
- Tsyplakov E. P. (1969). Variation in reproduction of the bream (*Abramis brama* L.) population in the Kuybyshev reservoir. *Journal Ichthyol.* **9**: 66-75.
- Van der Kraak G. & Pankhurst N.W. (1997). Temperature effects on the reproductive performance of fish. In Global Warming: Implications for freshwater and Marine Fish (McDonald, G. & Wood, C.M., eds), in press. Cambridge: Cambridge university Press.
- Van Donk E. (1998). Switches between clear and turbid water states in a biomanipulated lake (1986-1996): the role of herbivory on macrophytes. Pp. 290-297, in : Jeppesen E., Søndergaard M., Søndergaard M. & Christoffersen K. (Eds). The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes. Springer Verlag, New York.
- Vasilchenko O.N. (1970). The fecundity and the state of the gonads of common carp and bream used for breeding in the Volga Delta . *J. Ichthyol.* **10**: 67-76.
- Volodin V.M. (1979). The influence of feeding and overwintering conditions on the duration of egg resorption and the development of the next generation of oocytes in the bream, *Abramis brama*, of Rybink reservoir . *Journal Ichthyol.* **19**: 147-151.
- Wainwright P. (1987). Biomechanical limits to ecological performance: mollusc-crushing by the Caribbean hogfish (*Lachnolaimus maximus*). *Journal of Zoology* **213**: 283-297.
- Wang N., Gardeur J.N., Henrotte E., Marie M., Kestemont P. & Fontaine P. (2006). Determinism of the induction of the reproductive cycle in female Eurasian Perch, *Perca fluviatilis* : effects of environmental cues and modulating factors. *Aquaculture* **261**, 706-714.
- Webb P. (1978). Temperature effects on acceleration in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **35**: 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**: 1540-1548.
- Wetzel R.G. & Hough R.A. (1973). Productivity and role of aquatic macrophytes in lakes; An assesement. *Polskie Archiv. Hydrobiolo.* **20**: 9-19.
- Wiegand M.D., Buchanan L.G., Loewen J.M. & Hewitt C. M. (1988). Effects of rearing temperature on development and survival of embryonic and larval goldfish. *Aquaculture* **71**: 209-222.
- Wildhaber M. & Crowder L. (1990). Testing a bioenergetics-based habitat choice model: bluegill (*Lepomis machrochirus*) response to food availability and temperature. *Canadian Journal of Fisheries and aquatic Sciences* **46**: 1664-1671.
- Wilkonska H. & Zuromska H. (1967). Observations of the spawning of pike and roach in Mazury lake district. *Roczniki Nauk Polniczych* **90**: 477-502.

Willemsen J. (1980). Fishery aspects of eutrophication. *Hydrobiological Bulletin* **14**: 12-21.

Wootton P. (1990). Ecology of Teleost Fishes. Chapman and Hall, Londres, 404 pp.

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

11 ANNEXES

- Annexe 1 : Journal des sorties

Date	T°	Œufs	Actions
23/02	3°C		Mise en place de frayères artificielles flottantes dans le lac de la Plate de Taille
03/03	4°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
13/03	5°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
19/03	6°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
23/04	7°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
07/04	8°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
17/04	9°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
23/04	11°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
30/04	12°C	O	Prise d'échantillons d'œufs en la frayère Oupia (5) et comptage d'œufs.
07/05	12°C	O	Comptage d'œufs et observation des œufs de brochet éclos.
15/05	13°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
28/05	14°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température et conductibilité.
04/06	16°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, conductibilité et oxygène dissous.
11/06	15°C	O	Recherche de pontes et nettoyage. Prise d'échantillons d'œufs sur la frayère 2 et comptage d'œufs. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
18/06	17°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
24/06	18°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Prélèvement de larves pour détermination Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
02/07	22°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
09/07	19°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
16/07	20°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
23/07	20°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
30/07	19,5°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.

06/08	21°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.
14/08	21°C	N	Recherche de pontes et nettoyage. Échantillonnage d'eau <i>in situ</i> . Enregistrement de température, pH, turbidité et oxygène dissous.

N = non, O = oui.

• **Annexe 2 : Résultats des analyses d'eau de la Plate Taille pendant le suivi 2009**

Paramètres	Dates	Frayères						
		1	2	3	4	5	6	
Oxygène Dissous (%)	4/06/09	104,60	104,10	104,40	104,40	104,40		
	11/06/09	103,60	110,10	111,00	112,70	112,00	113,50	
	18/06/09	110,30	111,70	110,70	110,70	108,60	109,30	
	24/06/09	102,90	108,20	104,60	106,70	106,60	105,20	
	2/07/09	103,10	102,70	97,00	96,30	99,20	100,60	
	9/07/09	101,60	101,20	91,30	98,50	102,30	91,80	
	16/07/09	95,00	95,00	93,40	94,60	96,70	98,40	
	23/07/09	101,20	100,10	104,40	99,00	101,70	102,4	
	30/07/09	92,10	87,90	94,60	92,70	92,00	94,40	
	6/08/09	97,20	98,00	93,70	95,90	96,30	90,40	
	14/08/09	78,20	84,70	83,00	80,40	76,20	76,10	
	Nitrate (mg/L)	31/03/09	7,80	7,63	9,20	7,63	7,63	5,90
		7/04/09	13,40	13,40	12,60	8,40	8,40	7,40
		17/04/09	6,00	6,00	6,00	6,60	6,60	6,60
23/04/09		1,40	1,40	12,60	4,30	4,30	4,30	
30/04/09		16,70	16,70	0,00	0,00	5,20	5,20	
7/05/09		0,10	0,10	0,30	1,50	1,70	1,70	
15/05/09		5,20	5,20	5,00	5,00	0,00	0,00	
4/06/09		2,20	1,80	0,50	0,70	1,00	0,70	
11/06/09		1,20	2,10	1,00	1,20	1,70	1,00	
18/06/09		2,30	0,00	0,40	1,60	0,70	2,90	
24/06/09		1,10	1,00	0,40	0,90	0,60	0,70	
2/07/09		2,30	0,70	0,30	0,60	2,50	0,40	
9/07/09		2,30	2,80	1,80	1,70	1,30	1,10	
16/07/09		1,70	1,70	2,10	0,90	1,50	0,60	
23/07/09	0,30	0,90	2,20	2,00	1,00	1,40		
30/07/09	0,90	1,20	0,40	0,40	2,10	2,30		
6/08/09	0,10	0,80	2,40	1,80	1,40	1,40		
14/08/09	2,50	2,80	1,10	1,90	2,20	1,40		
Phosphate (mg/L)	31/03/09	0,49	0,49	0,37	0,37	0,14	0,14	
	7/04/09	0,50	0,50	1,63	1,63	1,10	0,56	
	17/04/09	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
	23/04/09	0,02	0,02	2,50	2,50	0,02	0,02	
	30/04/09	1,04	1,04	0,25	0,25	1,99	1,99	
	7/05/09	2,50	2,50	2,28	2,28	2,50	2,50	
	15/05/09	0,08	0,08	0,00	0,00	0,87	0,87	
	4/06/09	1,50	1,50	1,06	1,00	0,43	0,20	
	11/06/09	2,46	2,50	1,09	0,72	0,39	0,23	
	18/06/09	0,09	0,04	0,17	0,11	0,09	0,02	
	24/06/09	0,70	0,96	0,72	0,57	0,30	0,84	
	2/07/09	0,12	0,65	0,22	0,06	0,68	0,19	
	9/07/09	0,21	0,00	0,09	0,00	0,23	0,03	
	16/07/09	0,06	0,00	0,09	0,10	0,16	0,07	
23/07/09	0,15	0,14	0,34	0,24	0,15	0,14		
30/07/09	0,06	0,07	0,05	0,02	0,05	0,03		
6/08/09	2,49	2,50	2,46	1,39	0,64	0,85		
14/08/09	1,06	0,26	0,30	0,20	0,44	0,33		

Nitrite (mg/L)	4/06/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	11/06/09	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
	18/06/09	0,00	0,00	0,16	0,08	0,00	0,00
	24/06/09	0,00	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00
	2/07/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	9/07/09	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	16/07/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
	23/07/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	30/07/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6/08/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	14/08/09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ammoniac (mg/L)	4/06/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	11/06/09	0,54	0,37	0,00	0,40	0,00	0,00
	18/06/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00
	24/06/09	0,27	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
	2/07/09	0,69	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00
	9/07/09	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	16/07/09	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	23/07/09	0,51	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00
	30/07/09	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	6/08/09	0,31	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
	14/08/09	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Température (°C)	03/03/09	4,4	4,3	4,4	4,2	3,8	4,3
	13/03/09	4,95	4,75	5,25	4,95	4,75	5,55
	19/03/09	5,65	5,95	5,9	5,7	5,4	6,45
	23/04/09	8,5	6,55	6,9	6,45	6,7	6,85
	07/04/09	8	8,15	8,15	8,15	7,4	7,25
	17/04/09	9	9,2	9,6	9,6	9,5	9
	23/04/09	11,45	11,65	11,75	11,35	11,6	11,9
	30/04/09	11,55	11,55	12,25	11,05	11,8	11,35
	07/05/09	11,15	11,25	12,15	11,9	12,2	12,55
	15/05/09	13,05	12,4	13,55	13,05	13,7	13,5
	04/06/09	16,3	16,4	16,75	16,8	16,4	16,8
	11/06/09	14,7	14,9	14,85	14,9	15	15
	18/06/09	16,8	16,8	17,75	17,4	16,8	16,6
	24/06/09	17,95	18,1	18	17,65	17,7	18,5
	02/07/09	22,65	22,8	22	22,1	22,6	22,55
	09/07/09	19	19	18,9	19,1	19,1	19,1
	16/07/09	19,7	19,8	20,15	19,9	20	20,4
	23/07/09	19,8	19,8	19,7	19,7	19,7	19,9
	30/07/09	19,2	19,4	19,8	19,7	19,9	19,8
	06/08/09	21,5	21,7	21,3	21	21,1	21,1
	14/08/09	21,8	21,8	20,5	20,5	20,7	20,6
	03/03/09	1,4	1,4	12,6	4,3	4,3	4,3
	13/03/09	1,12	2,35	1,12	1,44	1,11	1,31
	19/03/09	1,85	2,06	1,50	1,58	1,64	1,37
	31/03/09	2,05	2,56	2,34	2,66	2,18	2,03
	19/03/09	1,85	2,06	1,50	1,58	1,64	1,37
	07/04/09	5,83	1,78	1,38	1,84	1,80	1,42
	17/04/09	3,17	2,25	1,81	3,18	2,32	3,94
	23/04/09	3,19	2,17	2,92	2,39	1,69	1,42
	30/04/09	1,02	1,1	1,95	1,59	1,38	0,95
	07/05/09	2,52	1,51	1,32	1,31	1,21	1,17

Turbidité (NTU)	15/05/09	8,86	5,73	4,18	6,19	1,69	2,82
	04/06/09	1,47	1,39	7,18	7,09	1,17	0,87
	11/06/09	4,32	0,86	7,18	4,61	2,83	3,16
	18/06/09	4,32	3,28	4,25	8,38	2,24	2,99
	24/06/09	6,75	8,47	2,86	2,25	5,56	3,05
	02/07/09	3,80	3,5	1,03	1,27	1,21	1,45
	09/07/09	4,32	2,09	1,31	1,41	1,40	1,56
	16/07/09	2,27	2,44	1,55	1,76	1,06	2,2
	23/07/09	2,25	1,23	1,29	1,35	1,27	1,74
	30/07/09	4,26	1,53	2,15	1,28	0,74	1,18
	06/08/09	1,53	0,91	0,83	0,97	0,82	1,75
	14/08/09	1,22	1,28	1,40	1,35	1,09	1,18
pH	19/03/09	7,8	7,8	8	8	8	8
	31/03/09	7,4	8,2	8	8,1	8,1	7,9
	07/04/09	7,8	7,8	8	8	8,1	8,1
	17/04/09	8	8	8	8	8	8
	23/04/09	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
	30/04/09	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	07/05/09	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	15/05/09	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
	04/06/09	7,04	7,94	7,91	8,04	8,03	7,82
	11/06/09	7,61	7,6	7,68	7,69	7,86	7,75
	18/06/09	8,12	8,15	8,21	8,2	8,16	8,17
	24/06/09	8,17	8,16	8,06	8,14	8,19	8,11
	02/07/09	8,25	8,24	8,06	8,01	8,12	7,95
	09/07/09	7,94	8,36	7,91	7,72	8,17	7,98
	16/07/09	8,35	8,25	8,21	8,26	8,24	8,18
	23/07/09	8,4	8,31	8,27	8,3	8,22	8,26
	30/07/09	8,18	8,17	8,19	8,2	8,23	8,21
	06/08/09	8,33	8,26	8,03	8,18	8,07	8,15
	14/08/09	7,94	7,95	7,96	7,95	7,91	7,88
	03/03/09	1	1	1	1	1	1
	13/03/09	3	3	2	3	2	2
	31/03/09	3	3	3	3	3	2
	07/04/09	2	1	2	2	2	1
	17/04/09	2	1	0	1	2	2
	23/04/09	3	2	2	2	2	2
	30/04/09	1	1	1	1	1	1
	07/05/09	1	1	2	2	2	3
	15/05/09	3	3	3	3	3	4
	28/05/09	4	4	4	4	4	4
Colmatage (1-4)	04/06/09	3	3	3	3	4	2
	11/09/09	1	0	1	3	3	2
	18/06/09	3	2	1	2	1	1
	24/06/09	3	3	1	1	1	3
	02/07/09	4	3	1	1	1	3
	09/07/09	1	1	1	1	3	2
	16/07/09	2	2	2	2	2	3
	23/07/09	2	3	1	1	1	3
	30/07/09	4	3	4	4	4	4
	06/08/09	3	2	2	3	4	4
	14/08/09	2	2	4	4	4	3

- **Annexe 3 : Liste des espèces végétales inventoriées**


Nom scientifique	Nom vernaculaire
<i>Achillea millefolium</i>	Millefeuille
<i>Agrostis capillaris</i>	Agrostis commun
<i>Agrostis stolonifera</i>	Agrostis stolonifère
<i>Ajuga reptans</i>	Bugle rampante
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Plantain d'eau
<i>Alnus glutinosa</i>	Aulne glutineux
<i>Anagallis arvensis</i>	Mouron des champs
<i>Artemisia vulgaris</i>	Armoise commune
<i>Betula pendula</i>	Bouleau pendant
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Calamagrostide commune
<i>Calamagrostis canescens</i>	Calamagrostide blanchâtre
<i>Callitriche hamulata</i>	Callitriche en crochet
<i>Callitriche palustris</i>	Callitriche aquatique
<i>Cardamine hirsuta</i>	Cardamine hérissée
<i>Carex acutiformis</i>	Fausse Laiche aiguë
<i>Carex demissa</i>	Laiche vert jaunâtre
<i>Carex disticha</i>	Laiche distique
<i>Carex pendula</i>	Carex à épis pendants
<i>Carex pseudocyperus</i>	Laiche faux souchet
<i>Carex remota</i>	Laiche à épis espacés
<i>Carex sylvatica</i>	Laiche des bois
<i>Carex vulpina</i>	Laiche des renards
<i>Carpinus betulus</i>	Charme commun


<i>Centaurea jacea subsp. nigra</i>	Centaurée noire
<i>Centaurea nemoralis</i>	Centaurée des bois
<i>Centaureum erythraea</i>	Petite Centaurée commune
<i>Cirsium palustre</i>	Cirse des marais
<i>Corylus avellana</i>	Noisetier
<i>Crataegus monogyna</i>	Aubépine
<i>Eleocharis palustris</i>	Scirpe des marais
<i>Elodea sp.</i>	Elodée
<i>Epilobium angustifolium</i>	Epilobe en épi
<i>Epilobium hirsutum</i>	Epilobe hirsute
<i>Epilobium tetragonum</i>	Epilobe à tige carrée
<i>Equisetum fluviatila</i>	Prêle des rivières
<i>Equisetum palustre</i>	Prêle des marais
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre commun
<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne élevé
<i>Geum urbanum</i>	Benoîte commune
<i>Hypericum tetrapterum</i>	Millepertuis à quatre ailes
<i>Iris pseudacorus</i>	Iris jaune
<i>Juncus articulatus</i>	Jonc articulé
<i>Juncus bufonius</i>	Jonc des crapauds
<i>Juncus effusus</i>	Jonc diffus
<i>Juncus inflexus</i>	Jonc courbé
<i>Juncus subnodulosus</i>	Jonc noueux
<i>Juncus tenuis</i>	Jonc fin
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Grande Margueritte
<i>Lolium perenne</i>	Ray-grass commun


<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé
<i>Lotus pedunculatus</i>	Lotier des franges
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Fleur de coucou
<i>Lysimachia nummularia</i>	Lysimaque nummulaire
<i>Lycopus europaeus</i>	Lycope d'Europe
<i>Lythrum portula</i>	Pourpier des marais
<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique
<i>Mentha arvensis</i>	Menthe des champs
<i>Myosotis scorpioides</i>	Myosotis des marais
<i>Phalaris arundinacea</i>	Baldingère
<i>Phleum pratense</i>	Fléole des prés
<i>Plantago lanceolata</i>	Plantain lancéolé
<i>Plantago major</i>	Grand Plantain
<i>Poa annua</i>	Pâturin annuel
<i>Poa palustris</i>	Pâturin des marais
<i>Polygonum minus</i>	Petite Renouée
<i>Populus tremula</i>	Peuplier tremble
<i>Potamogeton lucens</i>	Potamot à feuilles luisantes
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Potamot à feuilles pectinées
<i>Prunella vulgaris</i>	Brunelle commune
<i>Quercus robur</i>	Chêne pédonculé
<i>Ranunculus flammula</i>	Renoncule flammette
<i>Ranunculus reptans</i>	Renoncule rampante
<i>Reynoutria japonica</i>	Renouée du Japon
<i>Rorippa palustris</i>	Roripe des marais
<i>Rumex acetosella</i>	Petite Oseille


<i>Rumex conglomeratus</i>	Patience agglomérée
<i>Rumex x heterophyllus</i>	
<i>Rumex hydrolapathum</i>	Patience des eaux
<i>Rumex palustris</i>	Patience des marais
<i>Salix sp.</i>	Saule
<i>Salix alba</i>	Saule blanc
<i>Salix caprea</i>	Saule marsault
<i>Salix cinerea</i>	Saule cendré
<i>Salix purpurea</i>	Saule pourpre
<i>Salix viminalis</i>	Saule des vanniers
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Jonc-des-chaisiers
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Scirpe des bois
<i>Scutellaria galericulata</i>	Grande Toque
<i>Senecio aquaticus</i>	Sénéçon aquatique
<i>Senecio jacobaea</i>	Sénéçon jacobée
<i>Stachys palustris</i>	Epiaire des marais
<i>Tanacetum vulgare</i>	Tanaisie
<i>Trifolium repens</i>	Trèfle rampant
<i>Typha latifolia</i>	Massette à larges feuilles
<i>Viburnum opulus</i>	Viorne
<i>Vicia cracca</i>	Vesce cracca
<i>Zannichellia palustris subsp. palustris</i>	Zannichellie des marais


• **Annexe 4 : Monographie des espèces les plus abondantes**

	Famille : Lamiacées
	Nom scientifique : <i>Lycopus europaeus</i>
	Nom vernaculaire : Lycopo d'Europe
BIOLOGIE	ECOLOGIE
Plante vivace de 30 à 100 cm, glabrescente ou pubescente, inodore, à souche rampante - tige dressée, sillonnée - feuilles grandes, courtement pétiolées, ovales-lancéolées, dentées-incisées - fleurs blanches ponctuées de rouge, petites, en verticilles axillaires sessiles, écartés, très denses - calice en cloche, pubescent - corolle en entonnoir, à tube inclus - 2 étamines fertiles divergentes, les 2 supérieures rudimentaires - anthères à loges divergentes - carpelles lisses, tétraédriques, tronqués-bordés au sommet.	Espèce hygrophile de plaine, elle affectionne les lieux humides, les bords des cours d'eau, les marécages, les fossés... Elle est caractéristique de certaines formations végétales comme les saulaies, les peupleraies et les roselières. Se développant aussi bien en pleine lumière qu'en mi-ombre, elle est présente abondamment le long des berges du lac de la Plate Taille au sein de la plupart des herbiers ou ponctuellement isolée dans les endroits boisés.

	Famille : Poacées
	Nom scientifique : <i>Phalaris arundinacea</i>
	Nom vernaculaire : Baldingère faux-roseau
BIOLOGIE	ECOLOGIE
Plante vivace de 80 à 200 cm à rhizome noir rampant, en touffe - tige dressée, forte aux feuilles larges de 8 à 20 mm, scabre en haut - ligule large, ovale, obtuse, longue de 2,5 à 16 mm, généralement non déchirée - fleurs en panicule allongée, 5 à 25 cm, ramifiée, étalée à la floraison, puis resserrée vert blanchâtre à violacée - glumes lancéolées, terminées en pointe - glumelles glabres, luisantes - deux écailles ciliées à la base de la fleur.	Espèce héliophile, elle apprécie les sols assez humides à mouillés et affectionne particulièrement les rives des étangs, des rivières et des lacs en particulier au sein des cariçaies et des phragmitaies. Elle est présente également au niveau des ripisylves (les saulaies, les saulaies arbustives, les aulnaies et les aulnaies-frênaies). Sur le site de la Plate Taille, de nombreuses touffes peuvent s'observer le long des berges aussi bien au niveau de la ripisylve que dans les communautés de Carex et de Phragmites.

	Famille : Lamiacées
	Nom scientifique : <i>Mentha aquatica</i>
	Nom vernaculaire : Menthe aquatique
BIOLOGIE	ECOLOGIE
Plante vivace de 30 à 80 cm, verte ou rougeâtre, velue-hérissée ou presque glabre, à odeur forte - tige dressée ou ascendante - feuilles pétiolées, largement ovales ou ovales-lancéolées, dentées en scie - fleurs roses ou blanches, en verticilles peu nombreux, tous ou les supérieurs rapprochés en têtes terminales globuleuses ou ovoïdes très obtuses - calice tubuleux, velu, à nombreuses nervures saillantes - corolle velue en dedans - carpelles ovoïdes, verruqueux.	Elle affectionne les bords des eaux, les prairies humides et les fossés. Tolérant des périodes d'immersion prolongées, cette espèce est bien adaptée aux conditions de marnage. Au lac de la Plate Taille, elle a ainsi colonisé la majorité des berges et est présente dans la plupart des herbiers.

	Famille : Lamiacées
	Nom scientifique : <i>Mentha arvensis</i>
	Nom vernaculaire : Menthe des champs
BIOLOGIE	ECOLOGIE
Plante vivace de 10 à 60 cm, plus ou moins velue, à odeur forte - tige dressée ou étalées-ascendantes - feuilles toutes pétiolées, ovales, atténuées à la base, dentées en scie, les florales presque aussi grandes que les autres - fleurs rosées, en verticilles tous axillaires, écartés, compacts - axe floral terminé par un petit faisceau de feuilles - calice court, en cloche, velu, à gorge nue - corolle velue en dedans - carpelles ovoïdes, lisses.	Elle se plaît aux bords des eaux, dans les prairies humides, les fossés et les marécages. Au lac de la Plate Taille, elle est souvent associée à la Menthe aquatique aussi abondante qu'elle. Ces deux espèces constituent des tapis denses de végétation le long des berges du lac.

	Famille : Joncacées
	Nom scientifique : <i>Juncus effusus</i>
	Nom vernaculaire : Jonc diffus
BIOLOGIE	ÉCOLOGIE
<p>Plante vivace de 40 à 80 cm, verte, à rhizomes traçants - tige nue, facile à rompre, à moelle continue, rarement creuses - feuilles réduites à des gaines basales roussâtres non luisantes - fleurs verdâtres, en panicule latérale rameuse, plus ou moins lâche et diffuse, placée au-dessus du tiers supérieur de la tige - périanthe à divisions lancéolées très aiguës - capsule obovale, tronquée-déprimée et sans mamelon au sommet, verdâtre, un peu plus courte que le périanthe.</p>	<p>En situation semi-immersée, le Jonc diffus affectionne les prairies humides, les fossés, les bords des forêts, les berges des lacs et des rivières, les marécages. Constituant de petites stations le long des berges du lac de la Plate Taille, elle forme ponctuellement des jonchaies denses associées à d'autres espèces.</p>

• **Annexe 5 : Liste des relevés GPS de la végétation avec correspondance des espèces rencontrées**

Référence GPS	Espèces présentes
point 00	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 0	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 2	<i>Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Polygonum minus, Plantago lanceolata, Plantago major, Prunella vulgaris, Rumex conglomeratus, Potentilla sp.</i>
point 3	<i>Phalaris arundinacea, Plantago lanceolata, Plantago major, Juncus tenuis, Juncus effusus, Eleocharis palustris</i>
point 4	<i>Mentha aquatica, Mentha arvensis, Ranunculus reptans, Prunella vulgaris, Juncus tenuis, Juncus inflexus, Polygonum minus, Lotus pedunculatus, Potentilla sp., Carex sp., Plantago lanceolata, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Salix sp., Senecio jacobaea</i>
point 5	<i>Juncus tenuis, Typha latifolia, Juncus effusus, Salix caprea, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Ranunculus reptans, Rumex conglomeratus, Cirsium palustre, Plantago major, Plantago lanceolata, Salix alba, Phalaris arundinacea, Polygonum minus, Carex demissa, Populus tremula, Carex vulpina, Prunella vulgaris, Myosotis scorpioides, Epilobium tetragonum</i>
point 6	<i>Phleum pratense, Carex sylvatica, Lycopus europaeus</i>
point 7	<i>Potamogeton pectinatus, Carex sylvatica</i>
point 8	<i>Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Juncus effusus, Potamogeton pectinatus, Plantago major</i>
point 9	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Juncus effusus</i>
point 10	<i>Carex sylvatica</i>
point 11	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 12	<i>Carex sylvatica, Salix sp.</i>
point 13	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Equisetum palustre</i>
point 14	<i>Rumex hydrolapathum, Prunella vulgaris, Plantago major, Lycopus europaeus</i>
point 15	<i>Equisetum palustre, Stachys palustris, Potamogeton pectinatus, Phalaris arundinacea</i>
point 16	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Equisetum palustre, Rumex hydrolapathum</i>
point 17	<i>Juncus tenuis, Juncus effusus, Juncus articulatus, Agrostis stolonifera, Phleum pratense, Phalaris arundinacea</i>
point 18-19	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus, Tanacetum vulgare, Mentha arvensis, Ranunculus flammula, Lotus pedunculatus, Rumex conglomeratus, Scirpus sylvaticus, Eleocharis palustris, Prunella vulgaris</i>
point 20	<i>Lycopus europaeus, Juncus effusus, Juncus articulatus, Phalaris arundinacea, Rumex conglomeratus, Mentha arvensis</i>
point 21-22	<i>Juncus effusus, Juncus tenuis, Plantago lanceolata, Lycopus europaeus, Lotus pedunculatus, Rumex conglomeratus, Eleocharis palustris, Juncus bufonius, Prunella vulgaris, Lolium perenne, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Phleum pratense, Salix alba, Salix caprea, Salix viminalis, Epilobium hirsutum</i>
point 23-24	<i>Salix caprea, Salix viminalis, Lycopus europaeus, Juncus effusus, Juncus tenuis, Rumex palustris, Mentha aquatica, Mentha arvensis (4 m de long dans l'anse - tapis dense), Rumex conglomeratus, Lythrum portula, Lysimachia nummularia</i>

point 25-26	<i>Plantago lanceolata, Juncus effusus, Centaurea sp., Lolium perenne, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Lycopus europaeus, Phleum pratense, Epilobium hirsutum, Crataegus monogyna, Schoenoplectus lacustris, Phalaris arundinacea, Cirsium palustre, Rumex conglomeratus, Poa palustris</i>
point 27	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus</i>
point 28	<i>Salix caprea</i>
point 29	<i>Mentha aquatica</i>
point 30	<i>Mentha aquatica, Lycopus europaeus</i>
point 31	<i>Salix caprea</i>
point 32	<i>Lycopus europaeus, Juncus effusus, Corylus avellana</i>
point 33	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Carex pendula, Viburnum opulus</i>
point 34	<i>Mentha aquatica, Salix caprea</i>
point 35	<i>Salix purpurea, Salix caprea, Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Carex sp.</i>
point 36	<i>Juncus effusus, Mentha aquatica, Ranunculus flammula</i>
point 37	<i>Mentha aquatica</i>
point 38-39	<i>Salix caprea, Crataegus monogyna, Betula pendula, Corylus avellana, Salix cinerea</i>
point 39	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Lysimachia nummularia, Solanum dulcamara, Mentha arvensis, Juncus inflexus</i>
point 40	<i>Salix caprea, Salix sp.</i>
point 41	<i>Salix purpurea, Salix alba, Salix sp.</i>
point 42	<i>Mentha aquatica, Mentha arvensis, Salix caprea, Viburnum opulus</i>
point 43	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Poa palustris, Salix cinerea, Salix caprea</i>
point 44-45	<i>Mentha aquatica (tapis), Mentha arvensis, Lycopus europaeus, Centaurea nemoralis, Poa palustris, Plantago lanceolata, Lotus pedunculatus, Carex demissa, Salix caprea, Salix cinerea, Viburnum opulus</i>
point 45-46	<i>Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Salix caprea</i>
point 47	<i>Poa palustris (plusieurs touffes), Mentha aquatica, Mentha arvensis, Salix caprea, Salix cinerea</i>
point 48	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Poa palustris, Crataegus monogyna, Carex demissa, Lysimachia nummularia, Phalaris arundinacea</i>
point 49	<i>Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Crataegus monogyna, Phalaris arundinacea, Carex demissa, Stachys palustris, Salix cinerea, Salix caprea, Salix alba</i>
point 50	<i>Solanum dulcamara, Rumex conglomeratus, Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Poa palustris, Phalaris arundinacea, Centaurea nemoralis</i>
point 51	<i>Mentha arvensis, Plantago major, Rumex conglomeratus, Artemisia vulgaris, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Salix caprea</i>
point 52	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus</i>
point 53	<i>Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea</i>
point 54	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 55	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 56	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 57	<i>Salix cinerea</i>
point 58	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 59	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 60	<i>Lycopus europaeus, Solanum dulcamara, Phalaris arundinacea</i>
point 61	<i>Phalaris arundinacea (3 touffes)</i>
point 62	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 63	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 64	<i>Phalaris arundinacea</i>

point 65-66	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Salix cinerea (tapis d'espèces discontinu)</i>
point 67	<i>Mentha aquatica, Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Salix caprea, Salix cinerea</i>
point 68	<i>Mentha arvensis, Salix caprea, Salix purpurea</i>
point 69	<i>Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Crataegus monogyna</i>
point 70	<i>Mentha arvensis, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Salix caprea, Salix cinerea, Phalaris arundinacea</i>
point 71	<i>Mentha aquatica</i>
point 72	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Phalaris arundinacea, Salix caprea</i>
point 73	<i>Lycopus europaeus, Salix cinerea, Salix caprea</i>
point 74	<i>Salix caprea, Salix alba, Salix sp., Mentha aquatica, Lysimachia nummularia, Ranunculus flammula</i>
point 75	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Ranunculus flammula, Equisetum palustre, Carex pendula (au fond de l'anse) - Toute l'anse avec ces espèces de façon discontinue</i>
point 76	<i>Juncus effusus</i>
point 77	<i>Phalaris arundinacea, Salix caprea</i>
point 78	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 79	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 80	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 81-82	<i>Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Ranunculus flammula, Mentha arvensis, Rumex conglomeratus, Mentha aquatica, Juncus effusus, Carex demissa, Salix caprea, Salix cinerea, Plantago lanceolata, Stachys palustris, Epilobium hirsutum, Prunella vulgaris, Lotus pedunculatus, Poa palustris, Lythrum portula</i>
point 83	<i>Mentha aquatica</i>
point 84-85	<i>Phalaris arundinacea, Juncus effusus, Lycopus europaeus (discontinue)</i>
point 86	<i>Phalaris arundinacea, Salix caprea, Salix alba</i>
point 87	<i>Phalaris arundinacea, Salix caprea, Salix alba</i>
point 88	<i>Phalaris arundinacea, mentha aquatica, Lycopus europaeus</i>
point 89	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 90	<i>Salix alba, Salix caprea, Salix purpurea</i>
point 91	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 92	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 93	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 94	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 95	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 96	<i>Potamogeton pectinatus</i>
point 97	<i>Potamogeton lucens</i>
point 98	<i>Salix caprea, Salix purpurea, Betula pendula, Carpinus betulus, Fagus sylvatica, Quercus robur</i>
point 99	<i>Salix caprea, Salix cinerea, Potamogeton lucens</i>
point 100-101	<i>Salix caprea, Salix cinerea, Salix purpurea</i>
point 102-103	<i>Salix sp.</i>
point 104	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Salix caprea, Salix cinerea</i>
point 105	<i>Mentha aquatica, Salix caprea</i>
point 106-107	<i>Salix caprea, Lycopus europaeus, Carex pseudocyperus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Carex demissa, Juncus tenuis, Poa palustris, Senecio jacobaea</i>
point 108	<i>Salix cinerea</i>

point 109	<i>Lycopus europaeus, Poa palustris, Mentha arvensis, Lotus pedunculatus, Juncus tenuis, Juncus subnodulosus, Mentha aquatica, Carex demissa</i> (bande continue de 5-10 m)
point 110	<i>Lycopus europaeus, Salix caprea, Salix purpurea, Poa palustris, Carex demissa</i>
point 111	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Carex sp.</i>
point 112	<i>Salix caprea</i>
point 113	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus, Lotus pedunculatus, Mentha arvensis, Carex demissa, Poa palustris, Lythrum portula, Juncus tenuis, Salix caprea, Centaurium erythraea?, Potentilla anserina</i>
point 114	<i>Salix cinerea, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Juncus sp., Carex sp., Mentha arvensis, Carex pseudocyperus, Stachys palustris</i>
point 115	<i>Salix caprea</i>
point 116-117	<i>Mentha aquatica</i> (plus ou moins continue)
point 118	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Carex sp.</i>
point 119	<i>Mentha aquatica, Carex sp.</i>
point 120	<i>Lycopus europaeus, Plantago major, Carex subnodulosus, Poa palustris</i>
point 121-122	<i>Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Salix sp., Calamagrostis canescens,</i>
point 123	<i>Salix caprea, Salix cinerea</i>
point 124	<i>Mentha aquatica</i>
point 125	<i>Mentha aquatica</i>
point 126	<i>Salix sp.</i>
point 127	<i>Salix sp.</i>
point 128	<i>Salix sp.</i>
point 129	<i>Salix sp.</i>
point 130	<i>Salix sp.</i>
point 130-131	<i>Salix sp., Salix alba</i> (majoritaire), <i>Salix viminalis, Mentha aquatica</i> (bande continue de Saules)
point 132-133	<i>Salix sp., Mentha aquatica, Lycopus europaeus</i>
point 134-135	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis</i>
point 136	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Juncus effusus, Mentha arvensis, Rumex conglomeratus, Carex sp.</i>
point 137-138	<i>Salix cinerea, Mentha aquatica, Carex demissa, Iris pseudacorus, Carex vulpina, Salix purpurea, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Carex sp., Carex vulpina, Carex acutiformis, Senecio jacobaea</i>
point 139-140	<i>Salix sp.</i>
point 141	<i>Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Rumex conglomeratus, Juncus effusus, Carex vulpina, Carex acutiformis, Lycopus europaeus</i>
point 142	<i>Salix caprea, Lycopus europaeus</i>
point 143	<i>Mentha aquatica, Mentha arvensis, Carex demissa, Carex acutiformis, Juncus effusus, Prunella vulgaris, Juncus tenuis, Carex vulpina, Ranunculus flammula, Limosella aquatica?</i>
point 144	<i>Salix sp.</i>
point 145-146	<i>Carex vulpina, Carex acutiformis, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Lycopus europaeus, Juncus effusus, Crataegus monogyna, Ranunculus flammula, Rumex conglomeratus, Rorippa palustris, Calamagrostis canescens</i>
point 147-148	<i>Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Juncus effusus, Lycopus europaeus, Rumex conglomeratus, Lotus pedunculatus, Alisma plantago-aquatica, Stachys palustris, Eleocharis palustris, Equisetum fluviatile, Rorippa palustris</i> (zone interrompue par piétinement - dominance de joncs - abri à poissons)
point 149	<i>Mentha aquatica</i>

point 150	<i>Mentha aquatica, Mentha arvensis, Lycopus europaeus, Carex sp., Senecio jacobaea, Calamagrostis canescens</i>
point 150-151	<i>Salix sp., Salix caprea, Salix cinerea</i>
point 151-152	<i>Mentha aquatica, Ranunculus flammula, Carex sp., Senecio jacobaea, Stachys palustris, Lycopus europaeus</i>
point 152	<i>Stachys palustris, Lycopus europaeus, Carex sp.</i>
point 153	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Phalaris arundinacea, Plantago lanceolata, Carex demissa, Carex sp., Ranunculus flammula, Senecio jacobaea</i>
point 154	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Plantago lanceolata, Juncus tenuis, Ranunculus flammula, Rumex palustris, Carex sp., Geum urbanum</i>
point 155	<i>Mentha aquatica</i>
point 156	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 157	<i>Juncus effusus, Phalaris arundinacea</i>
point 158	<i>Juncus effusus</i>
point 159	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 160	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 161	<i>Juncus effusus, Phalaris arundinacea, Juncus tenuis</i>
point 162	<i>Phalaris arundinacea, Juncus effusus</i>
point 163	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 164	<i>Phalaris arundinacea, Salix caprea, Salix alba</i>
point 165-166	<i>Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris, Juncus effusus, Iris pseudacorus</i>
point 167	<i>Phalaris arundinacea, Salix caprea</i>
point 168	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 169	<i>Crataegus monogyna, Alnus glutinosa, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Prunella vulgaris, Juncus tenuis, Phalaris arundinacea, Juncus effusus</i>
point 170	<i>Juncus effusus, Juncus tenuis, Prunella vulgaris, Mentha aquatica, Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris</i>
point 171	<i>Mentha aquatica, Mentha arvensis, Eleocharis palustris (beaucoup), Lycopus europaeus, Solanum dulcamara</i>
point 172	<i>Mentha aquatica, Rumex conglomeratus, Juncus tenuis, Rumex hydrolapathum</i>
point 173	<i>Juncus effusus, Juncus tenuis, Cirsium palustre, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Lotus pedunculatus</i>
point 174	<i>Eleocharis palustris, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Juncus tenuis (tapis), Rumex palustris, Rumex sp.</i>
point 175	<i>Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Salix purpurea, Mentha arvensis, Juncus effusus, Crataegus monogyna, Eleocharis palustris, Prunella vulgaris</i>
point 176	<i>Lycopus europaeus, Juncus effusus (beaucoup), Rumex conglomeratus, Centaurea jacea subsp. Nigra, Carex sp., Lotus pedunculatus, Mentha aquatica, Vicia cracca, Phalaris arundinacea, Crataegus monogyna, Prunella vulgaris, Ranunculus flammula, Limosella aquatica ?, Lysimachia nummularia</i>
point 177	<i>Juncus effusus, Phalaris arundinacea, Lycopus europaeus, Salix viminalis, Mentha aquatica, Rumex sp.</i>
point 178	<i>Elodea sp., Potamogeton pectinatus</i>
point 179-180	<i>Phalaris arundinacea, Rumex conglomeratus, Carex vulpina, Carex sp., Juncus effusus, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Eleocharis palustris, Lysimachia nummularia, Rumex sp., Crataegus monogyna, Cirsium palustre, Stachys palustris, Lotus pedunculatus, Prunella vulgaris, Plantago lanceolata</i>
point 181-182	<i>Lycopus europaeus, Crataegus monogyna, Juncus effusus, Lotus pedunculatus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Prunella vulgaris, Phalaris arundinacea, Rumex conglomeratus, Plantago lanceolata, Vicia cracca, Eleocharis palustris</i>

point 183-184	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Crataegus monogyna</i>
point 184	<i>Crataegus monogyna, Salix purpurea, Carex demissa, Juncus effusus</i>
point 185	<i>Juncus effusus</i>
point 186	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus, Lotus pedunculatus</i>
point 187	<i>Juncus effusus, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Cirsium palustre, Lychnis flos-cuculi, Polygonum minus, Lotus pedunculatus, Plantago lanceolata, Hypericum tetrapterum, Rumex conglomeratus, Carex sp., Crataegus monogyna, Lycopus europaeus</i>
point 188	<i>Juncus effusus, Lotus pedunculatus, Lycopus europaeus, Hypericum tetrapterum, Plantago lanceolata, Rumex conglomeratus</i>
point 189-190	<i>Juncus effusus, Carex demissa, Alnus glutinosa, Carex acutiformis, Lycopus europaeus, Lotus pedunculatus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Plantago lanceolata, Rumex conglomeratus, Cirsium palustre, Eleocharis palustris, Prunella vulgaris, Juncus tenuis, Hypericum tetrapterum</i>
point 191-192	<i>Mentha aquatica, Juncus tenuis, Juncus effusus, Plantago lanceolata, Carex demissa, Prunella vulgaris, Crataegus monogyna, Carex vulpina, Lycopus europaeus, Rumex conglomeratus</i>
point 193-194	<i>Juncus effusus, Carex sp., Mentha arvensis, Cirsium palustre, Crataegus monogyna, Iris pseudacorus, Salix sp., Prunella vulgaris, Hypericum tetrapterum, Rumex conglomeratus, Mentha aquatica, Carex demissa, Lycopus europaeus, Polygonum minus, Plantago lanceolata, Salix alba, Epilobium hirsutum, Epilobium angustifolium</i>
point 194-195	<i>Epilobium hirsutum, Mentha aquatica, Juncus effusus, Eleocharis palustris (beaucoup), Salix purpurea, Quercus sp., Lycopus europaeus, Iris pseudacorus, Elodea sp., Potamogeton lucens</i>
point 196	<i>Lycopus europaeus, Rumex conglomeratus, Mentha arvensis, Plantago lanceolata, Prunella vulgaris</i>
point 197-198	<i>Lycopus europaeus, Carex vulpina, Mentha aquatica, Rumex conglomeratus, Prunella vulgaris, Phalaris arundinacea, Solanum dulcamara, Mentha arvensis, Juncus effusus, Crataegus monogyna, Carex demissa</i>
point 199-200	<i>Mentha aquatica (tapis), Lycopus europaeus, Rumex conglomeratus, Juncus effusus, Carex sp., Eleocharis palustris, Equisetum fluviatila, Salix purpurea, Carex vulpina</i>
point 200-201	<i>Salix sp.</i>
point 201	<i>Iris pseudacorus, Mentha aquatica, Juncus effusus, Lycopus europaeus, Salix sp., Juncus tenuis, Equisetum fluviatila, Ranunculus flammula</i>
point 202	<i>Carex vulpina, Salix caprea, Salix purpurea</i>
point 203	<i>Lycopus europaeus, Iris pseudacorus, Salix (arbuste), Mentha arvensis, Mentha aquatica, Juncus effusus, Lotus pedunculatus, Rumex conglomeratus, Ranunculus flammula, Equisetum fluviatila, Phalaris arundinacea, Carex pendula, Stachys palustris (toute l'anse)</i>
point 204-205	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Ranunculus flammula, Juncus effusus, Juncus inflexus, Rumex conglomeratus, Eleocharis palustris, Lotus pedunculatus, Phalaris arundinacea, Iris pseudacorus</i>
point 205	<i>Salix purpurea, Salix viminalis</i>
point 206	<i>Iris pseudacorus, Juncus inflexus, Juncus effusus, Lycopus europaeus, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Eleocharis palustris, Ranunculus flammula, Rumex conglomeratus, Lotus pedunculatus, Juncus tenuis, Stachys palustris, Polygonum minus, Salix sp., Carex vulpina, Carex sp.</i>
point 207	<i>Salix caprea, Crataegus monogyna, Solanum dulcamara, Phalaris arundinacea</i>
point 208-209	<i>Lycopus europaeus, Juncus effusus, Crataegus monogyna, Rumex conglomeratus, Mentha aquatica, Mentha arvensis</i>
point 210	<i>Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Cirsium palustre</i>

point 211-212	<i>Juncus effusus, Lycopus europaeus, Mentha aquatica, Phalaris arundinacea, Schoenoplectus lacustris, Rumex conglomeratus, Fraxinus excelsior, Carex sp.</i>
point 212-213	<i>Salix caprea, Phalaris arundinacea, Salix sp.</i>
point 214-215	<i>Phalaris arundinacea, Salix alba, Lycopus europaeus, Juncus effusus, Crataegus monogyna, Rumex conglomeratus, Eleocharis palustris, Mentha arvensis, Mentha aquatica</i>
point 216-217	<i>Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris, Mentha arvensis, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Juncus effusus, Lotus pedunculatus</i>
point 218	<i>Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris, Rumex conglomeratus, Crataegus monogyna</i>
point 219-220	<i>Phalaris arundinacea, Crataegus monogyna, Mentha aquatica, Juncus effusus, Lycopus europaeus, Salix purpurea</i>
point 221-222	<i>Juncus effusus, Crataegus monogyna, Lotus pedunculatus, Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Epilobium hirsutum, Eleocharis palustris</i>
point 223-224	<i>Juncus effusus, Eleocharis palustris (beaucoup), Juncus inflexus, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Artemisia vulgaris</i>
point 225-226	<i>Lycopus europaeus, Eleocharis palustris, Phalaris arundinacea, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Rumex conglomeratus, Rumex sp.</i>
point 227	<i>Salix viminalis, Salix alba, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea, Crataegus monogyna, Mentha arvensis, Juncus effusus, Poa palustris, Cirsium palustre, Eleocharis palustris</i>
point 228-229	<i>Salix sp., Salix alba, Salix purpurea, Salix viminalis</i>
point 230-231	<i>Eleocharis palustris, Mentha aquatica, Mentha arvensis, Carex vulpina, Carex sp., Lycopus europaeus, Juncus effusus, Cirsium palustre, Ranunculus flammula, Polygonum minus, Phalaris arundinacea, Schoenoplectus lacustris, Rumex conglomeratus, Rumex hydrolapathum, Potamogeton lucens</i>
point 232	<i>Mentha aquatica, Lycopus europaeus, Phalaris arundinacea</i>
point 233	<i>Phalaris arundinacea, Mentha arvensis</i>
point 234	<i>Phalaris arundinacea, Salix viminalis</i>
point 235	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 236	<i>Calamagrostis epigejos</i>
point 237	<i>Crataegus monogyna, Centaurea nemoralis</i>
point 238	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 239	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 240	<i>Salix alba</i>
point 241	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 242	<i>Phalaris arundinacea</i>
point 243	<i>Phalaris arundinacea, Potamogeton lucens</i>
point 244	<i>Phalaris arundinacea, Eleocharis palustris</i>
point 245	<i>Phalaris arundinacea, Juncus effusus, Carex vulpina, Juncus tenuis</i>
245-barrage	<i>Salix sp.</i>
point 246	<i>Mentha aquatica, Carex vulpina, Juncus effusus, Polygonum minus, Prunella vulgaris, Stachys palustris, Rumex hydrolapathum, Potentilla sp., Anagallis arvensis, Ranunculus reptans, Geum urbanum</i>
point 247	<i>Phalaris arundinacea, Mentha arvensis, Hypericum tetrapterum</i>