

Etude du peuplement pisciaire des Lacs de Joux et Brenet



Rapport définitif

13 septembre 2013

Document réalisé par :

Guy Périat & Pascal Vonlanthen
Eawag Fishecology group
Seestrasse 79
CH-6047 Kastanienbaum,
guy.periat@eawag.ch

Avec la participation de :

Jakob Brodersen & Ole Seehausen, Eawag
François Degiorgi, Université de Besançon
Jean Guillard, INRA Thonon

Remerciements :

L'équipe du « Projet Lac » tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la présente étude. En particulier, MM. Frédéric Hofmann, Philippe Amiet, Michel Colon, Michaël Goguilly, Hervé Décourcière, Jonathan Paris, Pierre Durllet, Pierre-Alain Chevalley, Yann Marbach, Gregory Tourreau, Yves Meylan, Jean-Daniel Meylan, Baenz Lundsgaard, Lucie Greuter ainsi que les étudiants des facultés de Besançon, Berne et Kastanienbaum.

En outre, nous sommes reconnaissants à l'Office fédéral de l'environnement et à la Direction générale de l'environnement - Inspection de la pêche (DGE-BIODIV) du canton de Vaud de leur soutien financier.

Résumé

L'objectif principal du « Projet Lac » est de déterminer d'une manière standardisée la diversité de l'ichtyofaune peuplant les grands lacs naturels alpins et périalpins. Cet important travail d'investigations est mené par l'EAWAG et différents instituts et gestionnaires partenaires.

L'inventaire des lacs de Joux et Brenet réalisé en septembre 2011, avec la collaboration de la Direction générale de l'environnement - Inspection de la pêche (DGE-BIODIV), a mis en évidence que les deux plans d'eau ont :

- su conserver les 5 espèces historiquement décrites (truite, perche, lote, brochet et un cyprinidé). En parallèle, la plupart des introductions sont issues des bassins versants proches.
- perdu, en un peu plus d'un siècle, un quart pour le lac de Joux et un tiers pour le lac Brenet, de leur volume par abaissement respectif des niveaux d'eau de 4 et 6 m lié à l'exploitation hydroélectrique. En outre, l'artificialisation des régimes d'écoulement provoque la mise à sec intempestive des habitats littoraux du lac de Joux, favorise le développement de la végétation sur les rives du lac Brenet et déconnecte totalement les deux plans d'eau. La situation de basses eaux prolongée observée en 2011 n'est donc qu'un événement particulier qui a stigmatisé cette transformation extrême du régime hydrologique. Le cycle de vie de la truite dans le lac Brenet et du corégone dans celui de Joux sont particulièrement affectés par cette perturbation, à tel point que la pérennité des populations est mise en question.
- vu les fortes concentrations de phosphore des années 80 progressivement diminuer jusqu'à nos jours. Toutefois, la désoxygénation des fonds du lac de Joux semble s'être aggravée. D'autres problèmes de qualité d'eau sont à rechercher pour expliquer ce phénomène.

Néanmoins, la situation n'est pas définitivement compromise. C'est pourquoi des actions visant à l'amélioration de la qualité d'eau, à l'adaptation des variations de niveau d'eau en tenant compte des cycles biologiques, à la préservation de l'intégrité naturelle des rives encore remarquablement conservées et à la restauration morphologique des affluents devraient être soit intensifiées, soit engagées. Le patrimoine ichtyologique de la vallée de Joux s'en trouverait ainsi durablement sauvé.

Mots clefs

Lac - morphologie - restauration - eutrophisation - poisson - inventaire - DCE

Sommaire

1	Problématique	1
1.1	Le Projet lac	1
1.2	Objectifs	2
2	Méthodologie.....	3
2.1	Mesures physico-chimiques.....	3
2.2	Cartographie des habitats	3
2.3	Echantillonnage pisciaire	4
2.4	Récolte halieutique.....	5
3	Résultats :	6
3.1	Physico-chimie	6
3.2	Habitats	8
3.3	Biodiversité.....	15
3.4	Comparatif à d'autres lacs.....	26
3.5	Gestion halieutique	28
4	Synthèse et Conclusion.....	36
4.1	Diagnose écologique.....	36
4.2	Exploitation halieutique	37
4.3	Conclusion	38
5	Perspectives :.....	39
5.1	Recommandations environnementales.....	39
5.2	Recommandations halieutiques	39
6	Bibliographie.....	41
7	Annexes :	43
7.1	Illustration cartographie des habitats	43
7.2	Liste des figures	44
7.3	Liste des tableaux	46

1 Problématique

1.1 Le Projet lac

Obligation légale

Qualifier l'état de conservation d'un milieu naturel est indispensable au gestionnaire chargé de la protection durable de l'environnement. En Europe, c'est une obligation légale inscrite dans les directives cadre (DCE). Au plan Suisse, la loi fédérale (LPE 814.0) impose la réalisation d'une étude d'impact comportant la détermination de l'état de conservation initial à toute installation susceptible de porter atteinte à l'environnement. Enfin pour les milieux aquatiques (OFSP 923.01 art 10, alinéa 1), chaque canton a l'obligation de suivre l'état de conservation des peuplements de poissons et d'écrevisses indigènes considérés comme menacés (statut 1 à 3).

Malheureusement, la taille des écosystèmes lacustres alpins et périalpins est telle qu'elle rend l'application des obligations légales difficile. En effet, les grands lacs européens profonds restent de véritables boîtes noires pour les naturalistes, faute de moyens et de temps pour les étudier ; en particulier, l'ichtyofaune pour laquelle les seules données disponibles se résument en général aux statistiques de la pêche.

Poisson organisme intégrateur

Pourtant, les poissons sont les organismes aquatiques les plus intégrateurs de la qualité écologique des hydrosystèmes. Ils possèdent (Degiorgi & Raymond, 2000):

- une des plus grandes longévités. En moyenne de 2 à 4 ans, mais pouvant atteindre plusieurs dizaines d'années.
- un spectre alimentaire recouvrant tous les régimes, depuis les végétariens stricts jusqu'au carnassiers apicaux ne se nourrissant que d'autres poissons.
- des exigences de qualité d'eau contrastées d'une espèce à l'autre. Par conséquent, chaque type de pollution risque de faire régresser une ou plusieurs espèces électives de la situation originelle.
- des exigences spatiales variées par espèce à chaque stade de développement. Ils sont donc d'excellents indicateurs d'altérations affectant la qualité physique des milieux et ceci à plusieurs échelles emboîtées.

S'intéresser à un peuplement pisciaire est donc la façon la plus intégrative temporellement et spatialement pour déterminer la qualité physico-chimique et morphologique de son milieu de vie, autrement dit, pour évaluer l'état de conservation de l'hydrosystème qui l'héberge.

Toutefois, si leur taille macroscopique facilite leur détermination, le faible nombre d'espèces de poissons dulcicoles européens reconnues (55 par LFSP 923.0) impose la mise en œuvre de procédés d'échantillonnage standardisés fournissant des images quantitatives comparables. La structure des populations de l'ensemble des espèces est à déterminer et à exprimer à l'échelle du peuplement. En outre, la grande mobilité de l'ichtyofaune nécessite une prospection, en simultanée, de la totalité de la masse d'eau.

Cette dernière remarque explique peut-être à elle seule l'absence de données de suivis ichtyologiques des grands lacs alpins et péri alpins. L'étendue de ces plans d'eau reste hors de portée des moyens humains et financiers mobilisables séparément par les gestionnaires locaux. C'est notamment pourquoi en 2010, année internationale de la biodiversité, l'EAWAG associé au Musée d'Histoire Naturelle de Berne a décidé de lancer une étude de grande envergure sur les peuplements pisciaires lacustres : le « Projet Lac ».

1.2 Objectifs

Objectifs globaux

Les objectifs cadre de cet important travail d'investigation et de recherche sont les suivants :

1. Déterminer la situation actuelle de la biodiversité ichtyologique des lacs naturels alpins et péri alpins, à l'aide de méthodologies communes, reproductibles et compatibles avec les indicateurs et les métriques préconisés dans le cadre de la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE).
2. Déterminer les causes des différences en biodiversité observées parmi les lacs et comprendre les principaux facteurs environnementaux à l'origine de l'apparition/disparition d'espèces endémiques.
3. Constituer une collection de référence de poissons au Musée d'Histoire Naturelle de Berne.
4. Mettre en place un groupe de réflexion international pour une exploitation et une gestion durable de l'ichtyofaune des grands lacs alpins et péri-alpins.

Le projet, budgétisé à environ 2.6 millions CHF pour l'étude de 22 grands lacs naturels et étalé sur cinq années de 2010 à 2014, a reçu un accueil positif de nombreux partenaires universitaires suisses et étrangers (Université de Besançon, INRA Thonon-les-Bains, Ecole d'ingénieur de Lullier), de l'Office fédéral suisse de l'environnement ainsi que de plusieurs cantons (Vaud, Genève, Valais, Neuchâtel, Fribourg, Tessin, Berne, Grison, Aarau) et de gestionnaires italiens (Regione Lombardia).

Objectifs spécifiques

Le présent rapport s'attachera à relater les enseignements mis en évidence par l'échantillonnage ichtyologique des lacs de Joux et Brenet. Cette étude a été réalisée entre le 5 et le 9 septembre 2011, soit durant la période exceptionnelle de basses eaux provoquée par les travaux de réfection des exploitations hydroélectriques au printemps et la sécheresse prononcée de l'été 2011.

2 Méthodologie

2.1 Mesures physico-chimiques

Pour chaque grand lac alpin et périalpin, un suivi régulier de la qualité de la colonne d'eau et des sédiments est généralement disponible auprès des autorités compétentes. Il va de soit que l'utilisation de ces précieuses données a été privilégiée.

Dans le Canton de Vaud, la Direction générale de l'environnement - Protection et qualité des eaux (DGE - PRE) réalise un suivi de la physico-chimie de la colonne d'eau tous les 15 jours pour le lac de Joux et tous les 3 mois pour le lac Brenet. Les données disponibles ont été mises à disposition par Brigitte Lods-Crozet et Andres Strawczynski.

2.2 Cartographie des habitats

Au préalable, une reconnaissance exhaustive en bateau permet le découpage géographique du plan d'eau en fonction des habitats en présence. La méthodologie dite des pôles d'attraction, développée par Degiorgi & Grandmottet (1993), a été retenue. Cette technique de division s'appuie principalement sur la distinction de trois grands compartiments :

- La zone littorale ou beine, délimitée par la rupture de pente, allant jusqu'à 3m de profondeur.
- La zone centrale constituée de la masse d'eau au-dessus de la plaine.
- La zone sublittorale ou talus, zone de transition entre la beine et la plaine.

Chacun des compartiments lacustres est divisé en pôles d'attraction en fonction de trois critères : hauteur d'eau, structure de l'occupation spatiale et présence d'un vecteur hydrologique. Le diagramme directif de découpage et codification est fourni en annexe 7.1.

De plus, les rives ont été considérées comme artificialisées dès lors qu'un renforcement de pied de berge en génie-civil (bloc artificiel, mur, etc.) ou en génie végétal (tressage, palplanche, etc.), une concentration de bateaux (en port fermé ou ouvert), un ponton, un débarcadère ou encore une plage aménagée étaient présents.

2.3 Echantillonnage pisciaire

En période de stratification estivale extrême (août, septembre, octobre), quatre protocoles d'inventaire de l'ichtyofaune sont menés simultanément et coordonnés (Figure 2.1) conformément à la stratégie d'échantillonnage prédéfinie à partir de la cartographie des pôles d'attraction :

- a) Un premier équipage s'occupe de l'estimation des biomasses en place par hydroacoustique. Il intervient en deux campagnes de mesures : une nocturne, une diurne selon la méthode développée par Guillard & Marchal (2001)
- b) Un deuxième équipage réalise l'échantillonnage à l'aide de filets maillants par application parallèle du protocole CEN à prospection aléatoire recommandé par la Directive cadre européenne (prEN14757, 2005) et de la technique dite des filets verticaux développée par l'Université de Besançon (Degiorgi, Grandmottet, Raymond, & Rivier, 2001)
- c) Un troisième équipage effectue un inventaire des zones peu profondes (<1m) à l'aide de pêches électriques par ambiance à un seul passage à pied ou en bateau. Chaque type de pôle d'attraction présent en bordure est prospecté et la surface pêchée est estimée en m².
- d) L'ensemble des poissons capturés est mesuré, pesé, photographié et conditionné pour une conservation durable au Musée d'histoire naturelle de Berne.

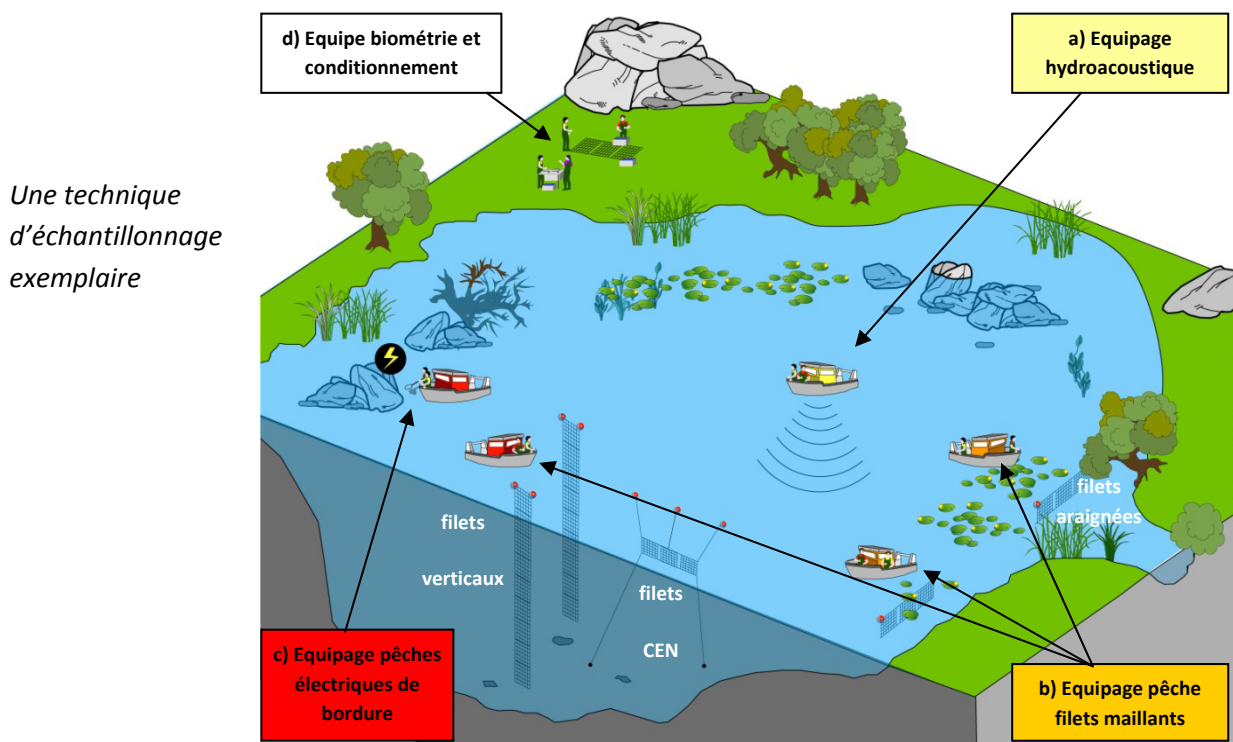


Figure 2.1 : Illustration de l'échantillonnage piscicole en période de stratification estivale extrême (dessin : M. Gogully)

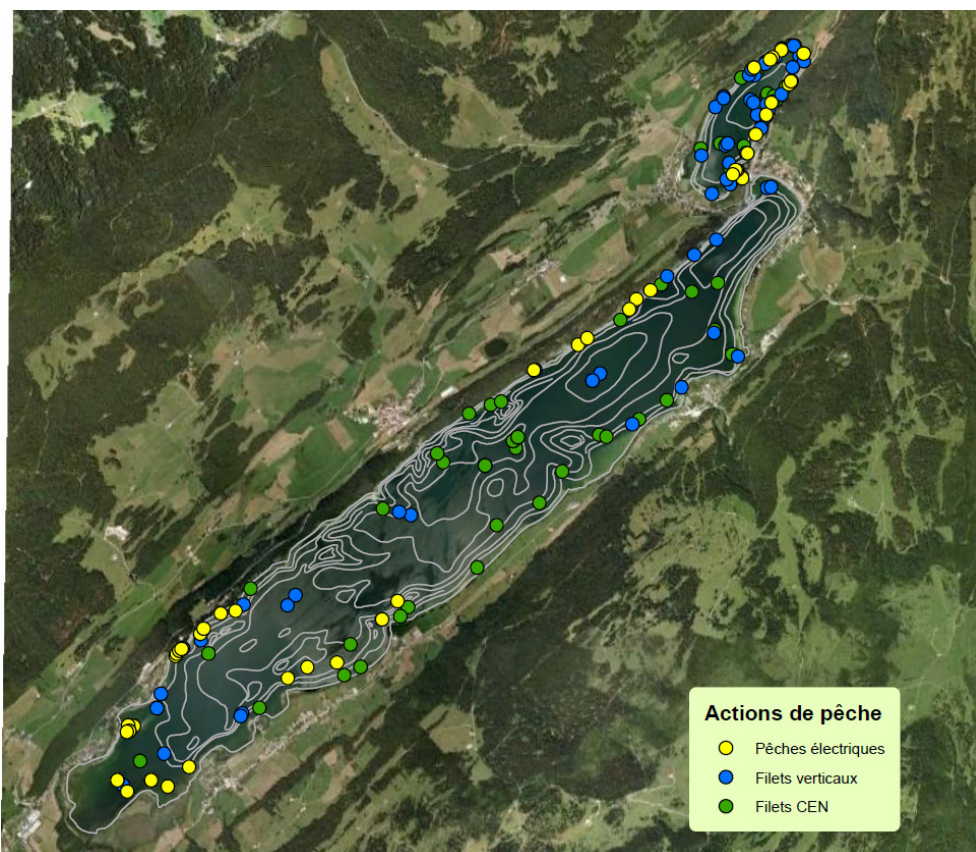


Figure 2.2 : Positionnement géographique des actions de pêche réalisées en simultanément entre le 5 et le 9 septembre 2011 sur les lacs de Joux et Brenet.

2.4 Récolte halieutique

Chaque grand lac européen possède une statistique de la récolte issue de la pêche professionnelle et de loisir. Afin de les confronter aux résultats d'inventaire, les données disponibles sont rassemblées et synthétisées.

Pour les lacs de Joux et Brenet, les statistiques disponibles à la Direction générale de l'environnement - Inspection de la pêche (DGE-BIODIV) ont été mises à disposition par Frédéric Hofmann et Nicole Produit.

3 Résultats :

3.1 Physico-chimie

3.1.1 Situation actuelle

La surveillance systématique des eaux des lacs de Joux et Brenet est en place depuis l'an 2000. Les paramètres suivants sont mesurés : température, conductivité, pH, alcalinité (TAC), Carbone organique total (COT), Ca, Cl, K, Mg, Na, NH₄, NO₂, NO₃, O₂, PO₄, Phosphore total, SiO₂ et SO₄.

Pour les deux lacs, la situation de la pollution organique va en s'améliorant. L'état actuel peut être considéré comme moyen à bon (Figure 3.1).

Une situation en amélioration

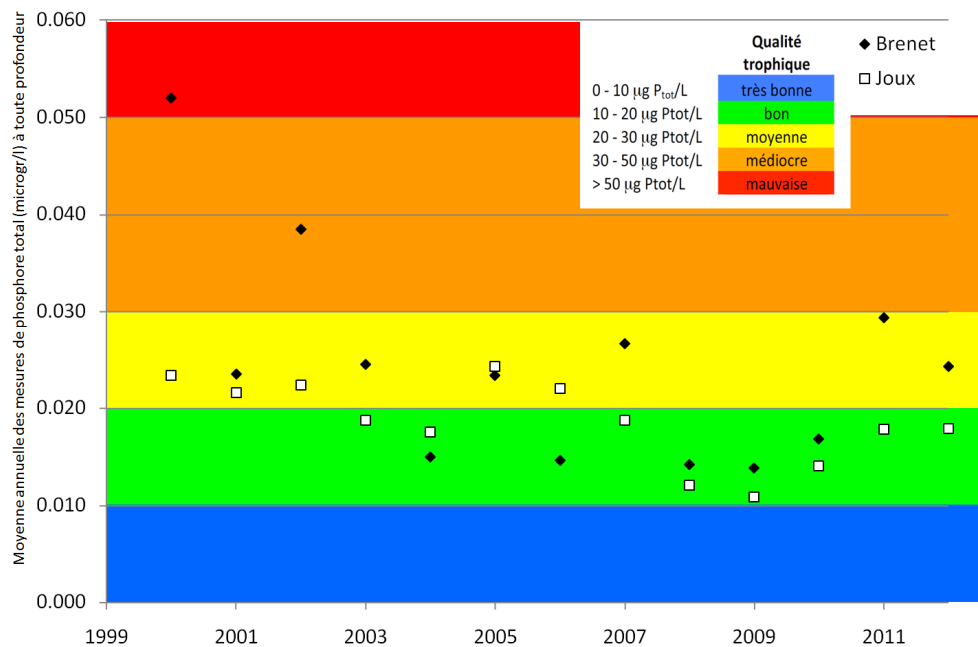


Figure 3.1 : Evolution des teneurs en phosphore total dans les lacs de Brenet et Joux. Moyenne annuelle des teneurs mesurées (Données DGE - PRE)

3.1.2 Evolution historique

Sur le lac de Joux, les données disponibles indiquent que depuis 1988 la colonne d'eau est sans oxygène en fin de période estivale à partir de 15 m de profondeur. En revanche entre 1985 et 1988, ce n'était pas le cas: la teneur la plus faible observée pour cette période à 15 m de profondeur est de 1.5 mg/l. (Figure 3.2)

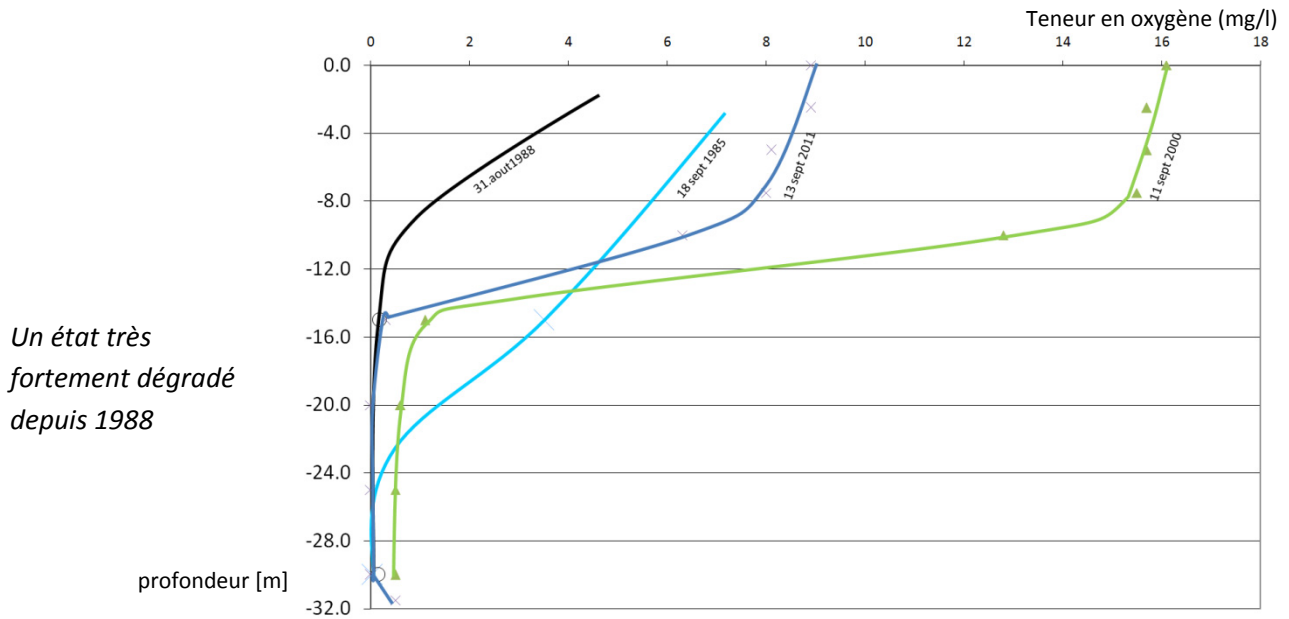


Figure 3.2 : Evolution de l'oxygénation de la colonne d'eau en zone profonde (31.5m) en fin de période estivale. (Données DGE-PRE, 2012)

3.2 Habitats

3.2.1 Lac de Joux: situation actuelle

La cartographie du littoral (Figure 3.3 & Figure 3.4) met en évidence que la proportion d'habitats structurés, soit par la végétation, soit par un substrat minéral attractif (bloc, galet, gravier), représente une infime partie de la surface lacustre à peine 5 %.

En 2011, absence d'hélophytes et de branchage en eau

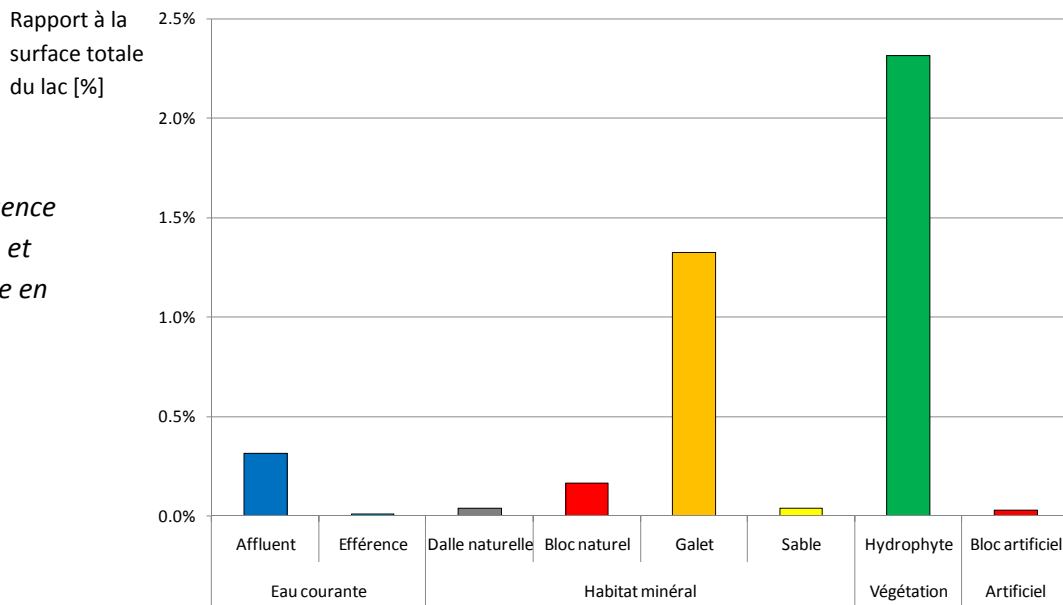


Figure 3.3 : Variété des habitats structurés du littoral du lac de Joux.

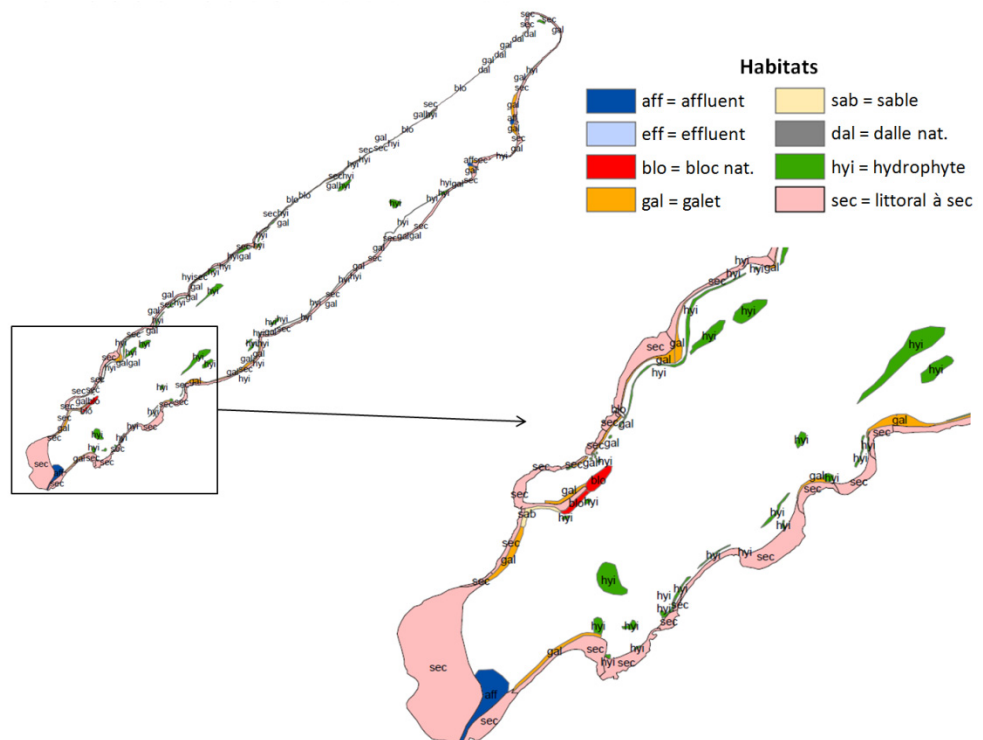


Figure 3.4 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac de Joux:

A noter que, contrairement à la plupart des lacs suisses, le lac de Joux ne possédait en été 2011 ni roselière en eau (héliphyte), ni branchage. En effet, une grande partie du littoral (représentant 7 % de la surface lacustre moyenne actuelle, soit 6 ha) était en permanence à sec durant 11 mois (Figure 3.4).

En termes d'artificialisation des rives (installation portuaire, urbanisation, protection de berge), le lac de Joux a toutefois su conserver son naturel (Figure 3.5). Seul 11% des rives ont été aménagées. A l'échelle des grands lacs suisses, cette qualité de préservation est à souligner.

*Une préservation
des rives à
souligner*

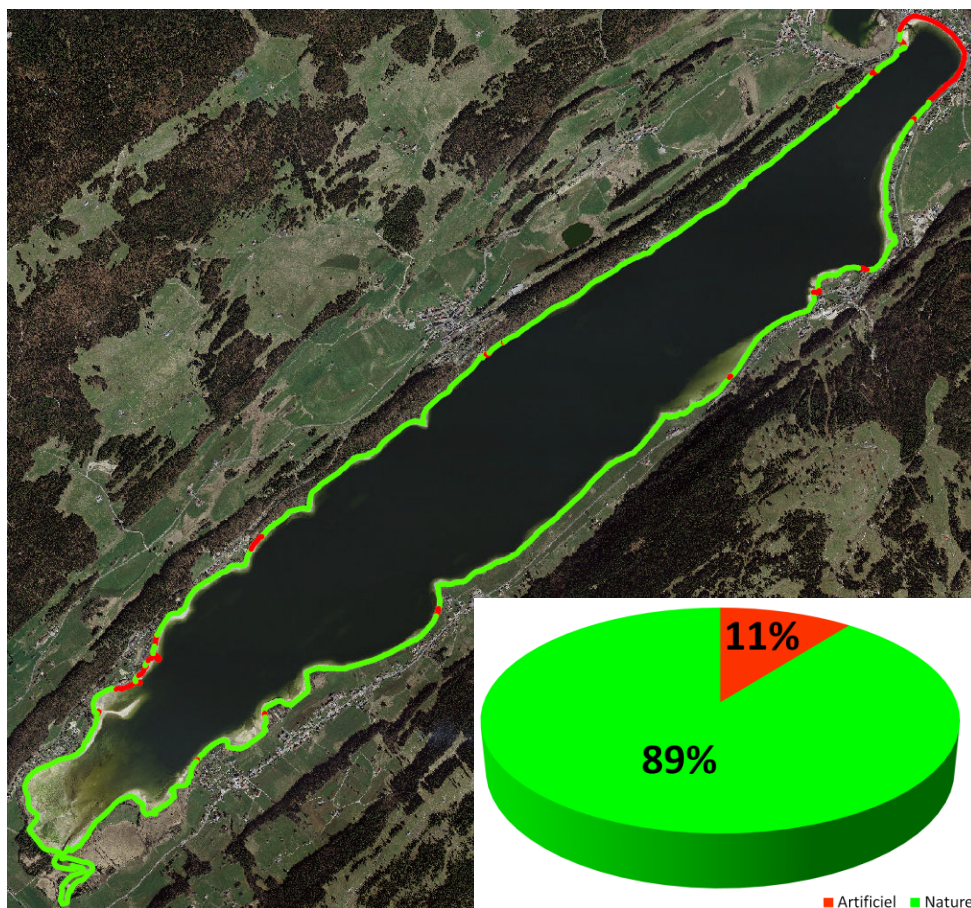


Figure 3.5 : Degré d'artificialisation des rives du lac de Joux.

3.2.2 Lac Brenet : situation actuelle

La cartographie du littoral (Figure 3.6 & Figure 3.7) met en évidence que la proportion d'habitats structurés, soit par la végétation, soit par un substrat minéral attractif (blocs, galets), représente 10% de la surface lacustre. L'hétérogénéité des habitats est, en outre, supérieure à celle du lac de Joux. Ici, la beine est entièrement en eau.

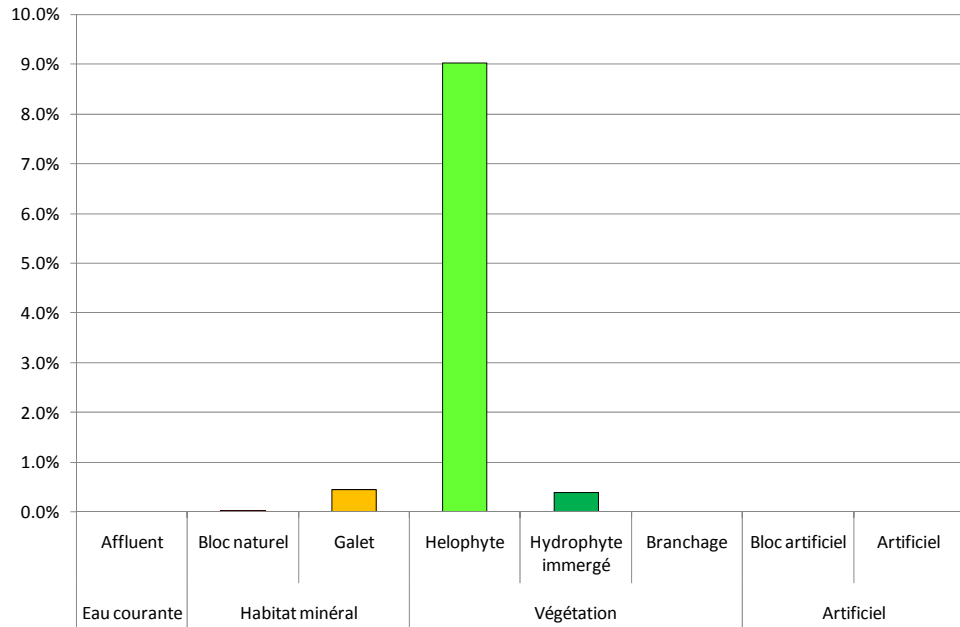


Figure 3.6 : Variété des habitats structurés du littoral du lac Brenet.

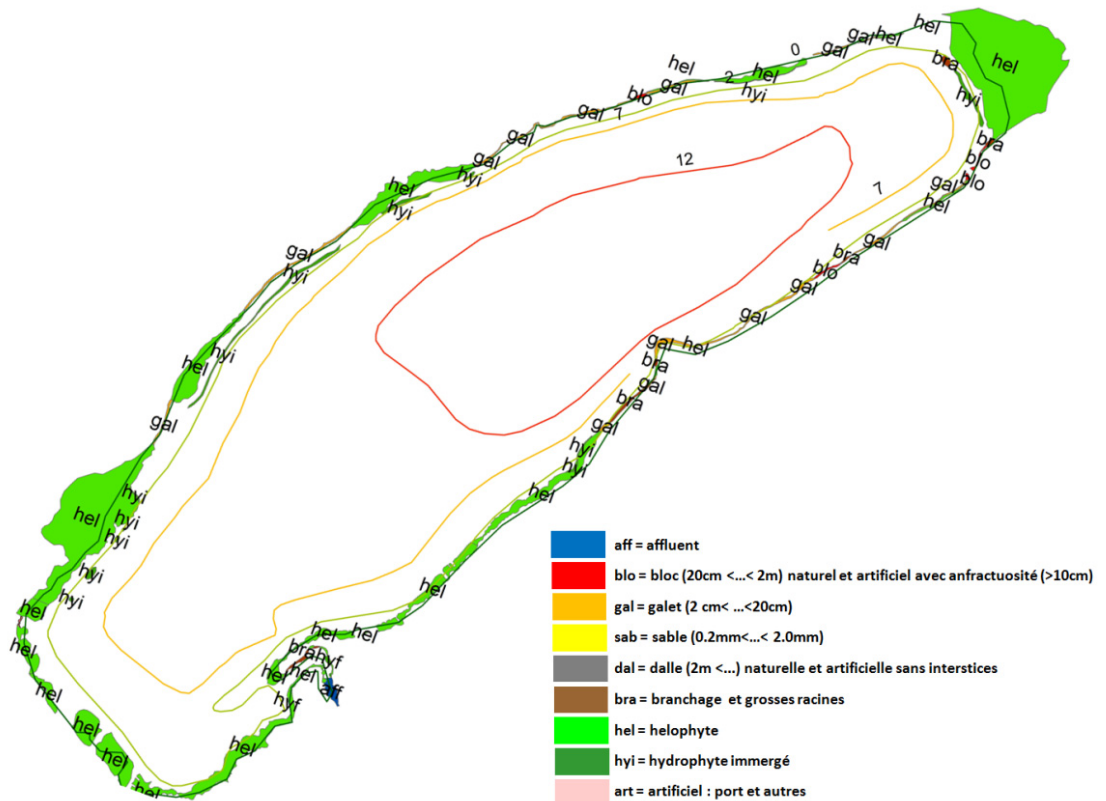


Figure 3.7 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac Brenet

En termes d'artificialisation des rives (installation portuaire, urbanisation, protection de berge), le lac Brenet est remarquablement faiblement concerné. La quasi-totalité du littoral se présente sans aménagement anthropique (Figure 3.8).

*Lac Brenet :
Un littoral naturel
conservé*

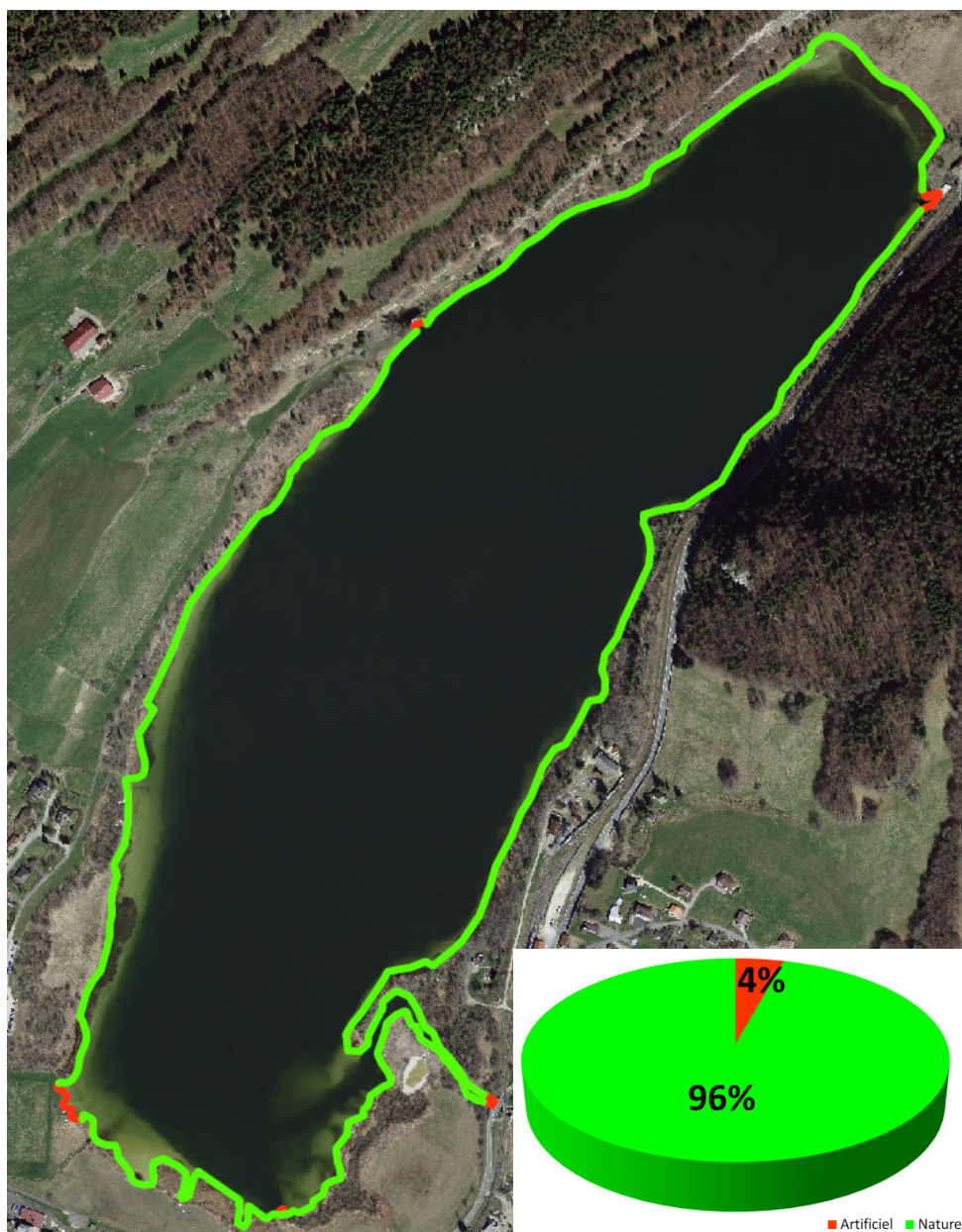


Figure 3.8 : Degré d'artificialisation des rives du lac Brenet.

3.2.3 Evolution historique

Au 18^{ème} siècle, les deux lacs communiquaient en permanence, sauf en étiage extrême (1775 par exemple) où il était possible de passer à pied sous le pont entre les deux lacs (selon Gauthier dans (Forel, 1897)). Les vitesses d'écoulement interlacs étaient faibles, à tel point que Forel (Forel, 1897) les considérait à même altitude.

La cote altitudinale la plus basse observée au 19^{ème} siècle est de 1005.15 m et la plus haute de 1011.30 m, lors de la fameuse crue de l'hiver 1882-83. (Figure 3.9)

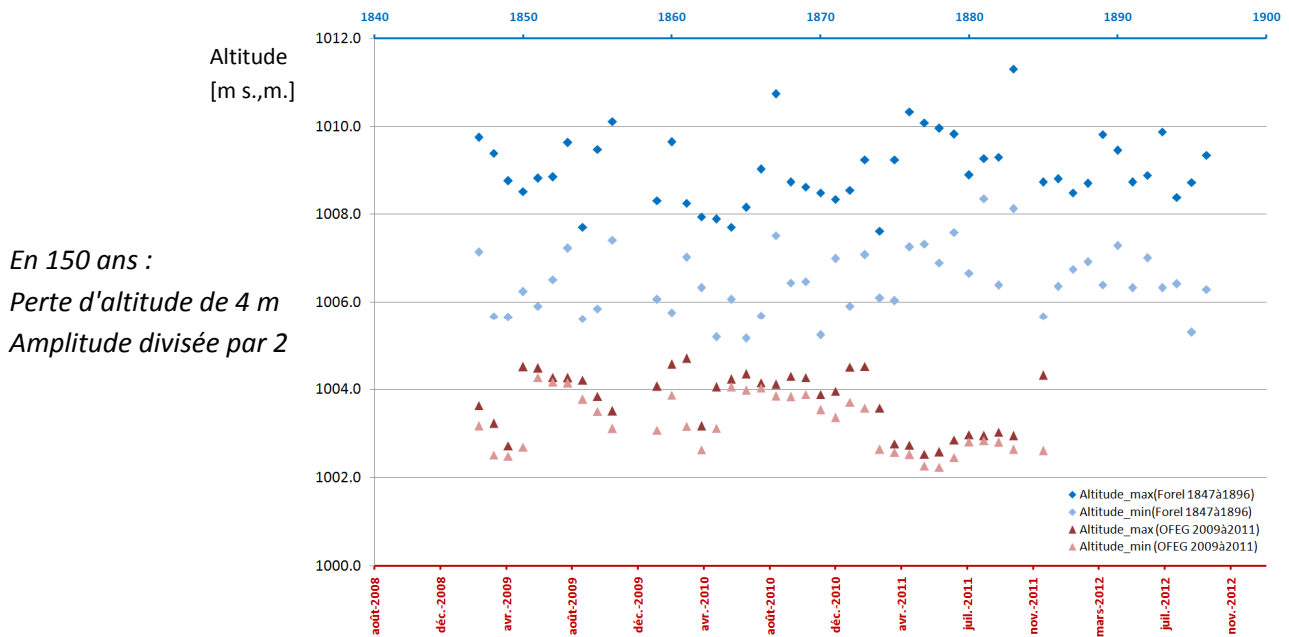


Figure 3.9 : Cotes minimales et maximales comparées entre les données historiques publiées par Forel (1897) et celles disponibles à Office fédéral de l'environnement (www.hydrodaten.admin.ch).

A la fin du 20^{ème} siècle (selon OFEV 1982-2011), le niveau le plus bas a été de 1001.78 m (1987) et le plus haut de 1005.23 m (2004). A noter que la moyenne annuelle la plus basse fut 1002.91 m en 2011.

En deux siècles, le niveau du Lac de Joux a donc perdu près de 4 m à son effluence. Parallèlement, l'amplitude des niveaux d'eau a été réduite quasiment de moitié. La cote la plus sévère de basses eaux d'antan est progressivement devenue le pic actuel des hautes eaux. De plus, depuis 1942 avec le maintien d'un niveau stable et abaissé du lac Brenet (Aubert, 1950) à 1002 m, la connectivité longitudinale entre les deux plans d'eau a été rompue.

Les conséquences, calculées à l'aide des courbes isohypses par logiciel SIG, en termes de surface lacustre sont drastiques: en moyennes eaux, le lac de Joux a perdu 260 ha (25%) et le lac Brenet 30 ha (31%). La profondeur des deux lacs a diminué respectivement de 4 et de 6 m.

Cette artificialisation du niveau des eaux des lacs Joux et Brenet trouve son origine dans l'exploitation hydroélectrique des eaux efférentes qui a débuté à la fin du 19^{ème} siècle (Forel, 1897)(Aubert, 1950), et qui s'est intensifiée au cours du 20^{ème} siècle (Golay, 1942)(Calame, et al., 1946). Les divers déblaiements des entonnoirs karstiques naturels du 19^{ème} siècle se sont poursuivis par le creusement de conduites forcées d'évacuation des eaux au 20^{ème} siècle.

En revanche, en termes de régime hydrologique, le Lac de Joux n'a pas subi de transformation radicale. Selon Forel (1897), les fréquences naturelles des hautes et basses eaux sont naturellement très variables d'une année à l'autre à la vallée de Joux : *"C'est en général au printemps, à la fonte des neiges, que les eaux sont les plus hautes, en hiver qu'elles sont les plus basses. Mais il y a souvent des déplacements considérables dans la saison de ces événements, et il est parfois difficile de préciser à quel moment de l'année il faut attribuer le maximum ou le minimum annuels"*. En d'autres termes, lors d'hivers rigoureux et neigeux, le régime hydrologique est pluvio-nival et lors d'hivers doux, il est pluvial avec beaucoup d'eau en automne/hiver/printemps et peu en fin d'été début d'automne. Ceci est confirmé par les diverses publications de Kopp (Kopp, 1873).

Actuellement, malgré une réduction drastique des amplitudes, la situation n'est pas foncièrement différente pour le lac de Joux : les basses eaux se font en février-mars lors d'hivers rigoureux et pour toutes les années en automne (Figure 3.10). Sauf en 2011 où de février à novembre le niveau a été en permanence à un bas niveau, à cause des travaux de réfection des installations hydroélectriques au printemps et de la sécheresse exceptionnelle de l'été 2011

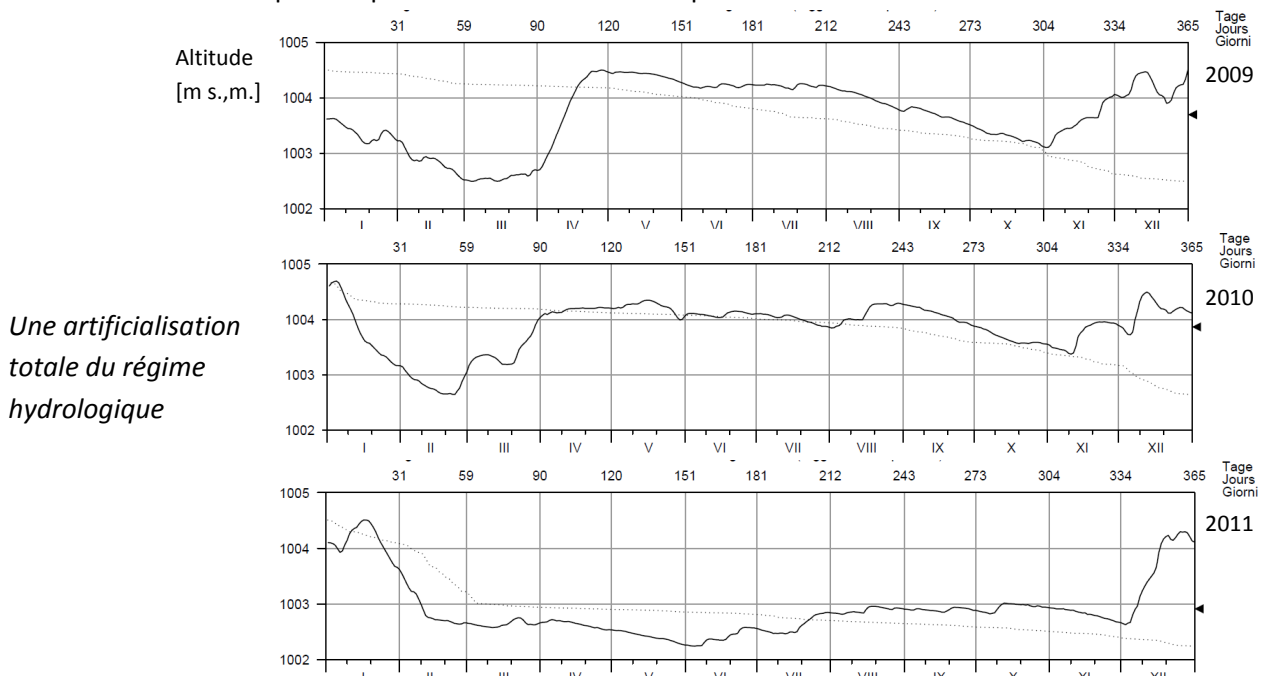


Figure 3.10 : Différences de niveau d'eau du lac de Joux entre 2009 et 2011 (données OFEV)

Pour le Lac Brenet, le niveau est stable quelle que soit la saison (Amiet, Garde-Pêche, com. pers.).

Les conséquences en termes d'habitats lacustres sont multiples.

Pour le lac de Joux:

- En un peu plus d'un siècle, le lac perd un cinquième de sa surface et un quart de son volume
- La remontée dans les affluents est rendue plus difficile pour les poissons.
- Une partie de l'année et en 2011 de février à octobre, l'ensemble des habitats de bordure est déconnecté du plan d'eau. Il n'existe plus un héliophyte (roseaux), un branchage (saules, aulnes) et un hydrophyte flottant (nénuphars) pouvant servir de refuge à la faune.
- Les frayères à corégones les moins profondes sont systématiquement mises à sec dès le mois de janvier, juste après la ponte des œufs en eau peu profonde.

Une perte cumulée de plus de 30% de volume lacustre en un peu plus d'un siècle

Pour le lac Brenet :

- En un peu plus d'un siècle, le lac perd près d'un tiers de sa surface et de son volume.
- Aucun affluent ou échappatoire n'est présent autour du lac. La connexion au lac de Joux est totalement rompue.
- La stabilité des niveaux d'eau favorise le développement de la végétation. Alors qu'à une époque, les rives étaient essentiellement minérales (Aubert, 1950), elles sont, en particulier sur les rives nord et sud, envahies par les héliophytes.

En définitive, les deux lacs ont perdu du volume, de la surface et de la profondeur. Ils ont vu leur littoral se transformer totalement au fil du temps : alors qu'en 2011 le lac de Joux a ses rives entièrement mises à sec pendant 11 mois, le lac Brenet est envahi par la végétation rivulaire. De surcroît, la connectivité écologique longitudinale des plans d'eau est rompue depuis 1942. Par ailleurs, il est important de préciser que malgré le fait que l'année 2011 a la moyenne de niveau d'eau la plus basse jamais enregistrée sur le Lac de Joux, la cote minimale imposée en absolue n'a rien d'exceptionnelle. En effet en 1987, elle peut être sporadiquement observée à encore 45 cm plus bas.

Enfin, il est tout de même intéressant de signaler que le degré d'artificialisation des berges, respectivement 11% pour Joux et 4% pour Brenet, reste faible comparativement aux autres grands lacs suisses.

3.3 Biodiversité

3.3.1 Situation actuelle

Les trois protocoles de captures ont permis de recenser un total de 12 espèces de poissons et d'une espèce d'écrevisse (Tableau 3.1).

Espèce		Joux					Brenet				
		CEN	Vert	Elec	Total		CEN	Vert	Elec	Total	
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	1201	139	36	1376	62%	304	67	2	373	26%
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	270	144	32	446	20%	465	260	31	756	54%
Rotengle (nord+sud)	<i>Scardinius sp</i>	0	0	0	0	0%	31	121	0	152	11%
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	64	16	259	339	15%	16	3	0	19	1%
Brochet	<i>Esox lucius</i>	5	2	1	8	0%	1	2	1	4	0%
Corégones	<i>Coregonus sp</i>	3	33	0	36	2%	33	21	0	54	4%
Truite	<i>Salmo trutta</i>	2	2	0	4	0%	0	0	2	2	0%
Lotte	<i>Lota lota</i>	0	0	6	6	0%	0	0	17	17	1%
Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	0	1	0	1	0%	5	10	10	25	2%
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	0	3	1	4	0%	3	6	0	9	1%
Ombre	<i>Thymallus thymallus</i>	0	2	0	2	0%				0	0%
Total					2222					1411	
Ecr.signal	<i>Pacifastacus leniusculus</i>	0	0	0	0		19	26	2	47	

Indice de Diversité (Shannon)

0.46

0.56

Tableau 3.1: Individus capturés par les trois protocoles appliqués durant la semaine du 5 au 9 septembre 2011 sur les lacs de Joux et Brenet.

une complémentarité
des protocoles
employés

Les trois protocoles appliqués apparaissent complémentaires au nombre d'espèces pêchées mais aussi sur la composition des populations. En particulier, les pêches électriques révèlent l'importance des zones littorales (<1m) pour la lotte, qui n'a jamais été pêchée en profondeur.

Les corégones capturés ont été considérés comme de la palée (*C.palea*) du lac de Neuchâtel, issue des introductions réalisées en 1931 (Vauthier, 1996). Toutefois, des analyses morpho-métriques et génétiques sont en cours pour déterminer la diversité de ce groupe.

Une espèce originaire du sud des alpes a été capturée dans le lac Brenet. Comme pour le lac de Morat (Périat, 2012) et de Neuchâtel (Périat, 2013), il s'agit du rotengle du sud (*S. hesperidicus*) (Figure 3.11). A noter, que le genre *Scardinius* n'a pas été observé sur le Lac de Joux.

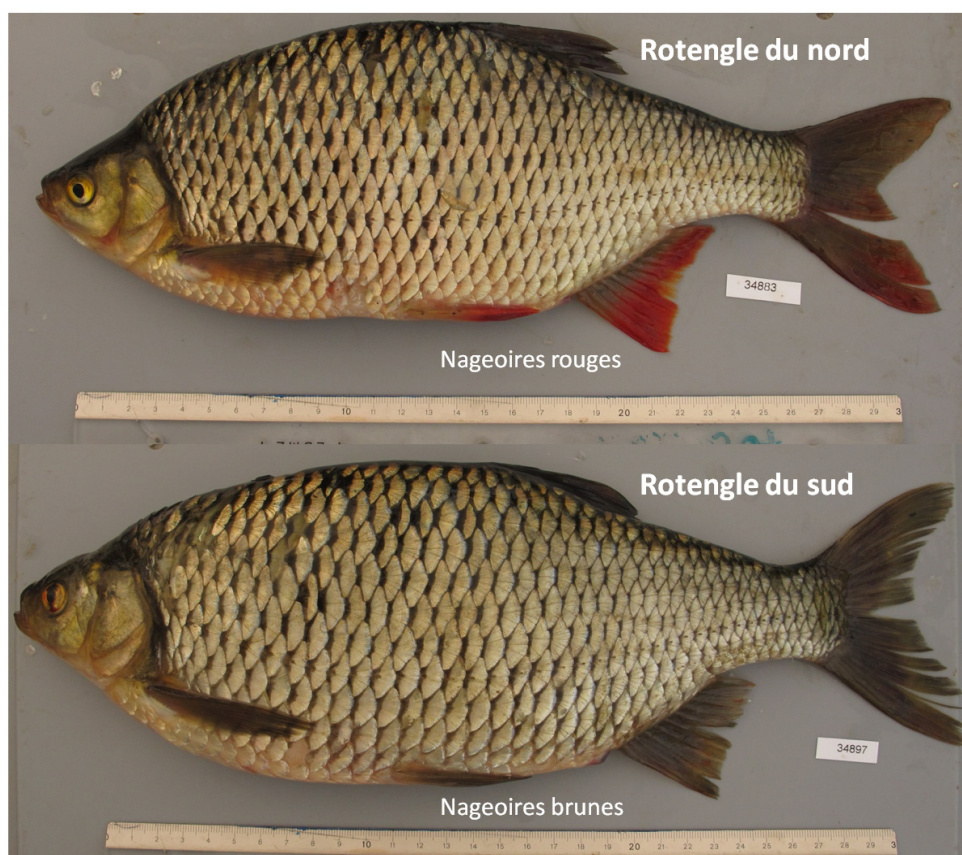


Figure 3.11 : Illustration comparative des rotengles du nord et du sud pêchés dans le lac Brenet en 2011.

Un total de 12 espèces capturées

Au final, au stade d'avancement actuel des analyses, 10 espèces ont donc été capturées sur le lac de Joux et 11 espèces sur le lac Brenet (Tableau 3.1).

Une collection de 444 poissons représentant 12 espèces cumulées a ainsi été constituée au Musée d'histoire naturelle de Berne (Tableau 3.2).

Espèce		Joux	Brenet
		individu	individu
Palée	<i>Coregonus sp</i>	34	38
Brochet	<i>Esox lucius</i>	7	3
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	25	15
Lotte	<i>Lota lota</i>	-	11
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	64	48
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	71	45
Truite	<i>Salmo trutta</i>	4	1
Rotengle (nord + sud)	<i>Scardinius sp</i>	-	49
Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	1	14
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	3	9
Ombre	<i>Thymallus thymallus</i>	2	-
Total en collection		211	233
11 espèces			

Tableau 3.2 : Liste des espèces collectionnées par le Musée d'histoire naturelle de Berne.

3.3.2 Evolution historique

Le premier échantillonnage global et standardisé des lacs de Joux et Brenet montre que l'ichtyofaune du lac n'a cessé d'accroître sa variété (Tableau 3.3)

Espèce		Joux				Brenet 2012
		Forel 1894	Pedroli 1991	BAFU 2003	2012	
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	1	1	1	1	1
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	1	1	1	1	1
Brochet	<i>Esox lucius</i>	1	1	1	1	1
Truite	<i>Salmo trutta</i>	1	1	1	1	1
Lotte	<i>Lota lota</i>	1	1	1	1	1
Corégones	<i>Coregonus sp</i>		1	1	1	1
Ombre	<i>Thymallus thymallus</i>		1	1	1	1
Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>		1	1	1	1
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>		1	1	1	1
Tanche	<i>Tinca tinca</i>		1	1	1	1
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>		1	1		1
Blageon	<i>Telestes souffia</i>		1			
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>		1	1		1
T arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>		1	1		
Rotengle (nord)	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>					1
Rotengle (sud)	<i>Scardinius hesperidicus</i>					1
Total espèces indigènes		5	11	10	10	11
TOTAL espèces introduites		0	3	3	2	3
TOTAL espèces décrites		5	14	13	10	11
Ecr.signal	<i>Pacifastacus leniusculus</i>			1	1	1

Tableau 3.3 : Diversité piscicole décrite sur les Lacs de Joux et Brenet (Forel, 1894 , Réimpression de 1998)(BAFU, 2003)(Pedroli, et al., 1991)

5 espèces originelles
toujours présentes

Dans le détail, une compilation des publications relatives à la diversité historique du Lac de Joux, qui pour rappel était parfaitement connecté avec le lac Brenet, relève un total de 5 espèces considérées comme indigènes, soit présentes avant 1492 (Forel, 1894 , Réimpression de 1998). Nonobstant, Vauthier précise que le brochet est le résultat d'une introduction réalisée en 1186 et qui par la suite a posé problème dans les échanges commerciaux (Vauthier, 1996): la valeur des brochets étant inférieure à celle des truites.

De plus, la situation du gardon (*R.rutilus*), de la vandoise (*L.leuciscus*) et/ou du vengeron (*L. prasinus* selon (Agassiz, 1835)) n'est pas claire. Au 19^{ème} siècle, ces trois espèces sont distinguées systématiquement par plusieurs auteurs (Agassiz, 1835)(Gugelhard, 1840). Forel explique que le vengeron, sans précision complémentaire, est une espèce connue de longue date du lac de Joux (Forel, 1894, Réimpression de 1998), alors que Fatio souligne que le gardon a été introduit dans le cours du 19^{ème} siècle dans le lac de Joux (Fatio, 1890). Enfin, Du Plessis en 1868 explique que les trois espèces se côtoient sur l'Orbe aval (Du Plessis G., 1868).

Ainsi, les plans d'eau de la vallée de Joux possédaient bel et bien originellement un cyprin, mais dont l'espèce reste incertaine : soit *R. rutilus*, soit *L. leuciscus* ou encore *L. prasinus*, bien que ce dernier taxon ne soit pas reconnu par la littérature moderne. En outre, lors des échantillons de terrain, il est apparu qu'avec certains individus la distinction entre gardon (*R. rutilus*) et vandoise (*L. leuciscus*) n'était pas évidente. Afin d'éclaircir cette situation un travail universitaire a été lancé sur ce sujet (Rieder J., en cours).

En résumé, à l'origine et compte tenu des pertes et des gorges infranchissables de l'Orbe, les lacs de Joux et de Brenet étaient dominés par la truite, la perche, un cyprin et la lotte. Une situation quasi similaire aux lacs Saint-Point et Rémoray en France voisine, également isolés hydrogéographiquement par le Saut du Doubs.

Au fil du temps, diverses espèces ont été introduites par l'homme. En particulier, après la redécouverte de la pisciculture en 1849 (Thibault, 1991). Les espèces introduites sont en revanche quasi exclusivement issues de la faune européenne ; excepté la truite arc-en-ciel qui apparemment n'a pas fait souche. En revanche, le corégone (introduit en 1931) et l'ombre (en 1911) constituent actuellement des poissons prisés par les pêcheurs (Hofmann & Maibach 2013). Parmi les espèces décrites et non recapturées en 2011, le blageon et le vairon suggèrent que la situation des affluents est préoccupante. Il serait utile d'analyser l'état des populations dans les eaux courantes, afin d'élucider les causes de leur vraisemblable disparition des plans d'eau. Enfin, la non capture de la carpe indique que la densité de ce poisson doit être très faible.

2 espèces invasives

En revanche, il est réjouissant de constater que seule une espèce, le rotengle du sud, peut être considérée comme invasive. A noter enfin, que l'écrevisse signal se rencontre fréquemment dans le lac Brenet.

En définitive et malgré les différences de méthodes employées à travers les époques, les lacs de Joux et Brenet ont :

- conservé les cinq espèces originelles considérées comme indigènes par la législation et la littérature historique (truite, perche, cyprin sp., lotte, brochet)
- récupéré neuf espèces (rotengle, gardon, corégone, chevesne, tanche, ombre, blageon, vairon, carpe commune) de la faune européenne hydrogéographiquement proche, dont les six premières peuvent être fréquemment rencontrées.
- subi l'introduction de trois allochtones (truite arc-en-ciel, rotengle du sud & écrevisse signal), dont seuls les deux derniers sont invasifs.

Au final, la variété de l'ichtyofaune a plus que doublé en 150 ans à cause des diverses introductions effectuées par l'homme. Parmi les espèces rencontrées, seule la truite de lac a le statut d'espèce menacée selon l'Ordonnance fédérale en la matière (OFSP 923.01).

3.3.3 Répartition spatiale

L'expression verticale des captures met en lumière une concentration des poissons entre 0 et 17 m de profondeur pour le Lac de Joux (Figure 3.12) et quasi à toutes les profondeurs pour le lac Brenet (Figure 3.13)

*Lac de Joux:
Absence de poisson en profondeur*

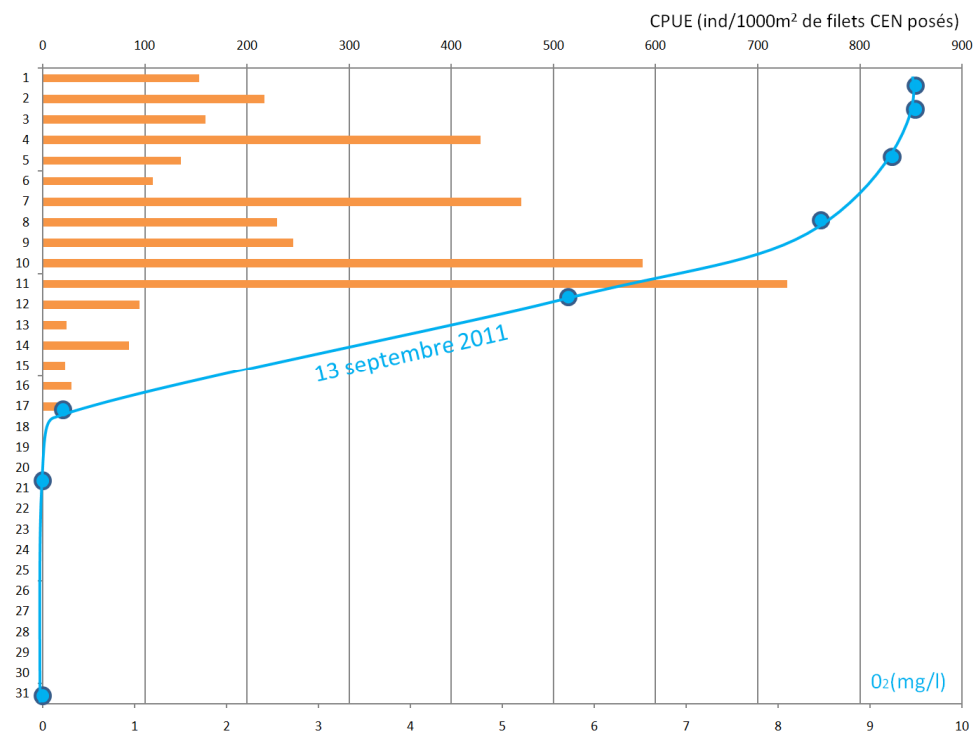


Figure 3.12 : Lac de Joux: Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti) comparée à l'oxygénation de la colonne d'eau en septembre 2011 (données DGE-PRE).

*Lac Brenet :
Poissons à quasi
toutes les
profondeurs*

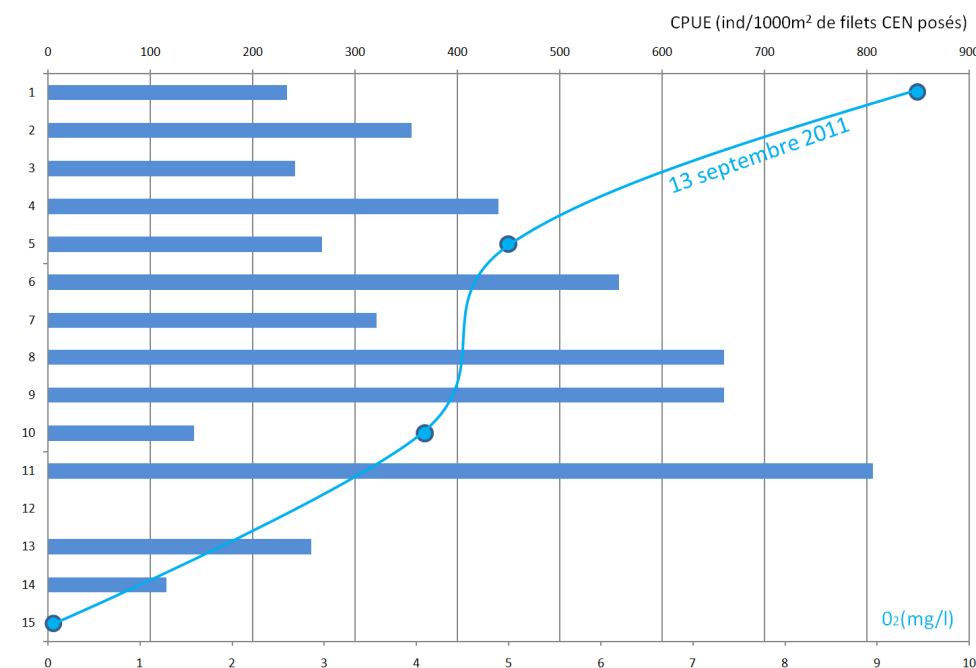


Figure 3.13 : Lac Brenet: Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti) comparée à l'oxygénation de la colonne d'eau en septembre 2011 (données DGE-PRE).

Dans les deux cas, cette distribution est corrélée à la concentration de l'oxygène de la colonne d'eau. A noter que pour le lac Brenet, le transit de l'ensemble des eaux turbinées doit avoir un effet sur le brassage du plan d'eau et donc sur sa physico-chimie. De plus, concernant le lac de Joux, cette distribution est confirmée par les analyses d'hydroacoustiques qui montrent que les poissons sont en zones pélagiques concentrés à faible profondeur (8m) et ne dépassent pas 16 mètres. (Figure 3.14).

*Confirmation
hydroacoustique sur
le lac de Joux*

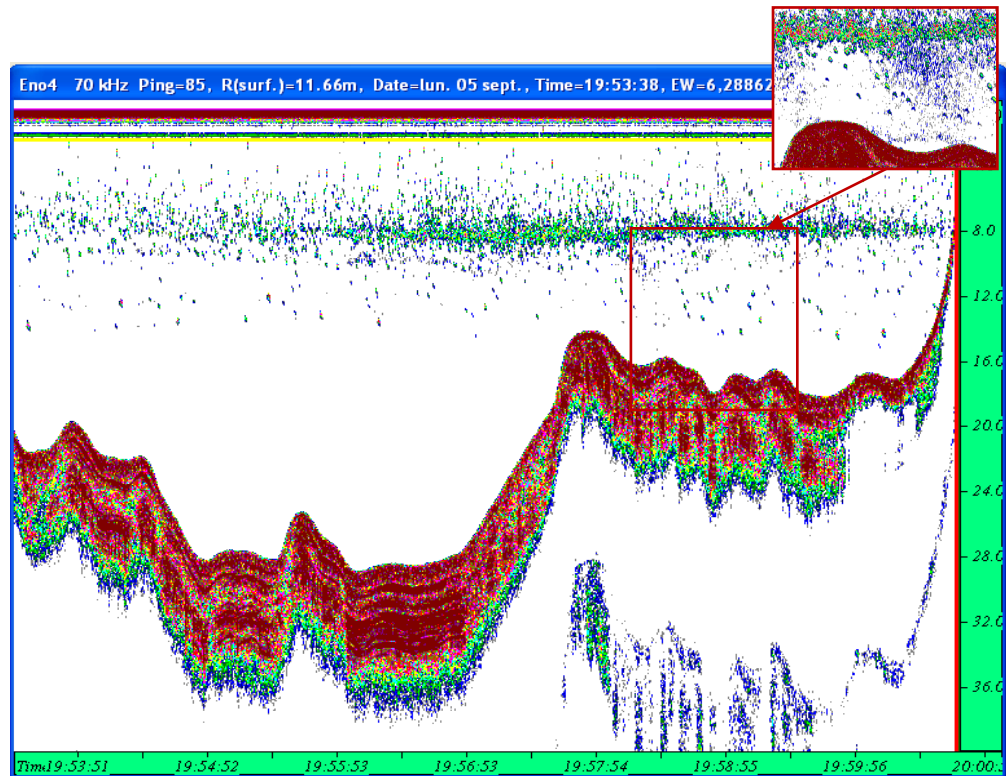


Figure 3.14 : Transect d'échointégration nocturne réalisé à la perpendiculaire du village du Lieu, le 6 septembre 2011. (donnée INRA, Colon & Guillard).

L'expression horizontale des résultats d'hydroacoustique (Figure 3.15) révèle également que la couche supérieure (jusqu'à 10 m) semble plus densément peuplée que la couche inférieure (Figure 3.16).

A remarquer également, la distribution homogène de la densité des poissons : quelle que soit la position géographique, les différences de biomasses détectées restent faibles.

*Non prospection
hydroacoustique
du lac Brenet*

Enfin, la difficulté de mise à l'eau des bateaux ne nous a pas permis d'effectuer la prospection hydroacoustique du lac Brenet.

Homogénéité géographique des biomasses détectées

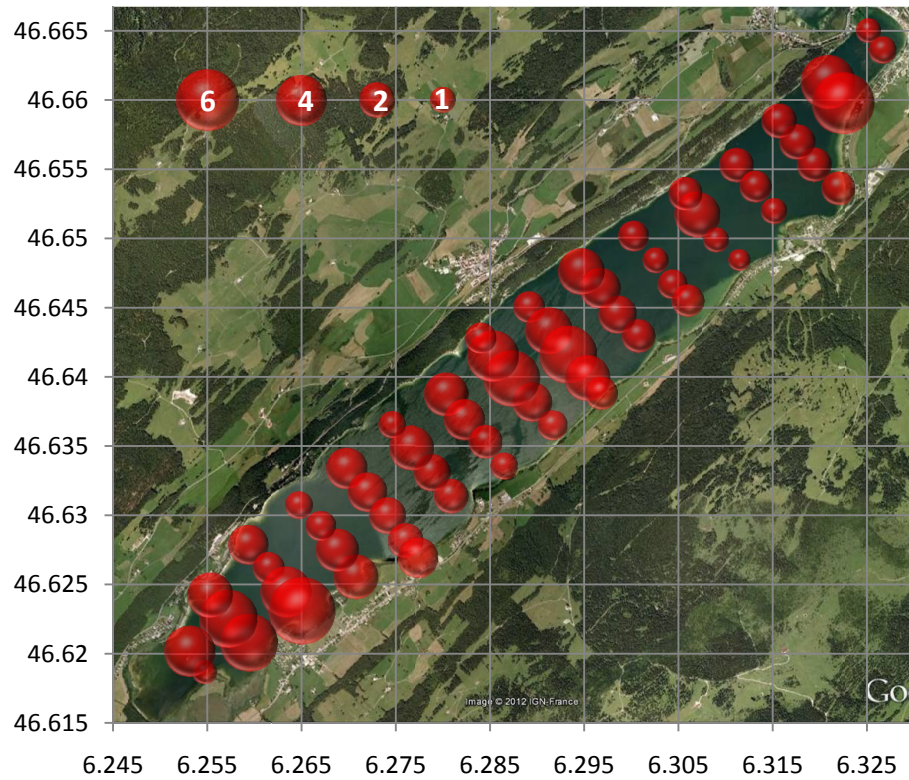


Figure 3.15 : Séquences d'échantonnage de la couche supérieure (2.5 - 10 m) [$\text{Sa}(\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-2})$]. Parcours de nuit du 5 au 6 septembre 2011 (16 transects, Données INRA Colon & Guillard).

Densité faible en dessous de 10 m de fond

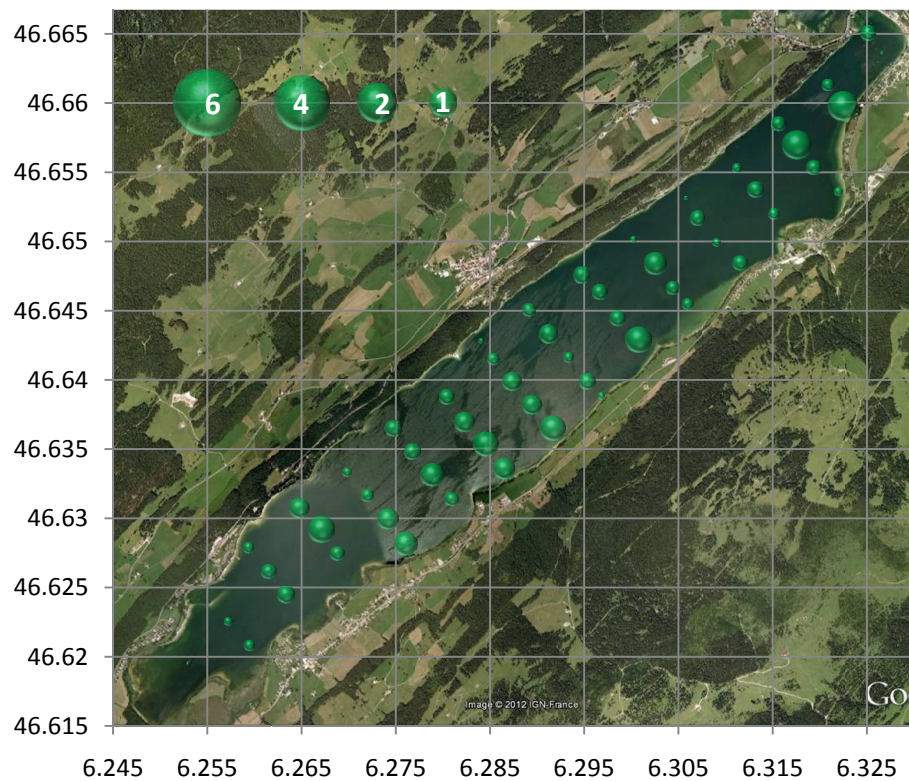


Figure 3.16 : Séquences d'échantonnage de la couche inférieure (10m - fond) [$\text{Sa}(\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-2})$]. Parcours de nuit du 5 au 6 septembre 2011 (16 transects, Données INRA Colon & Guillard).

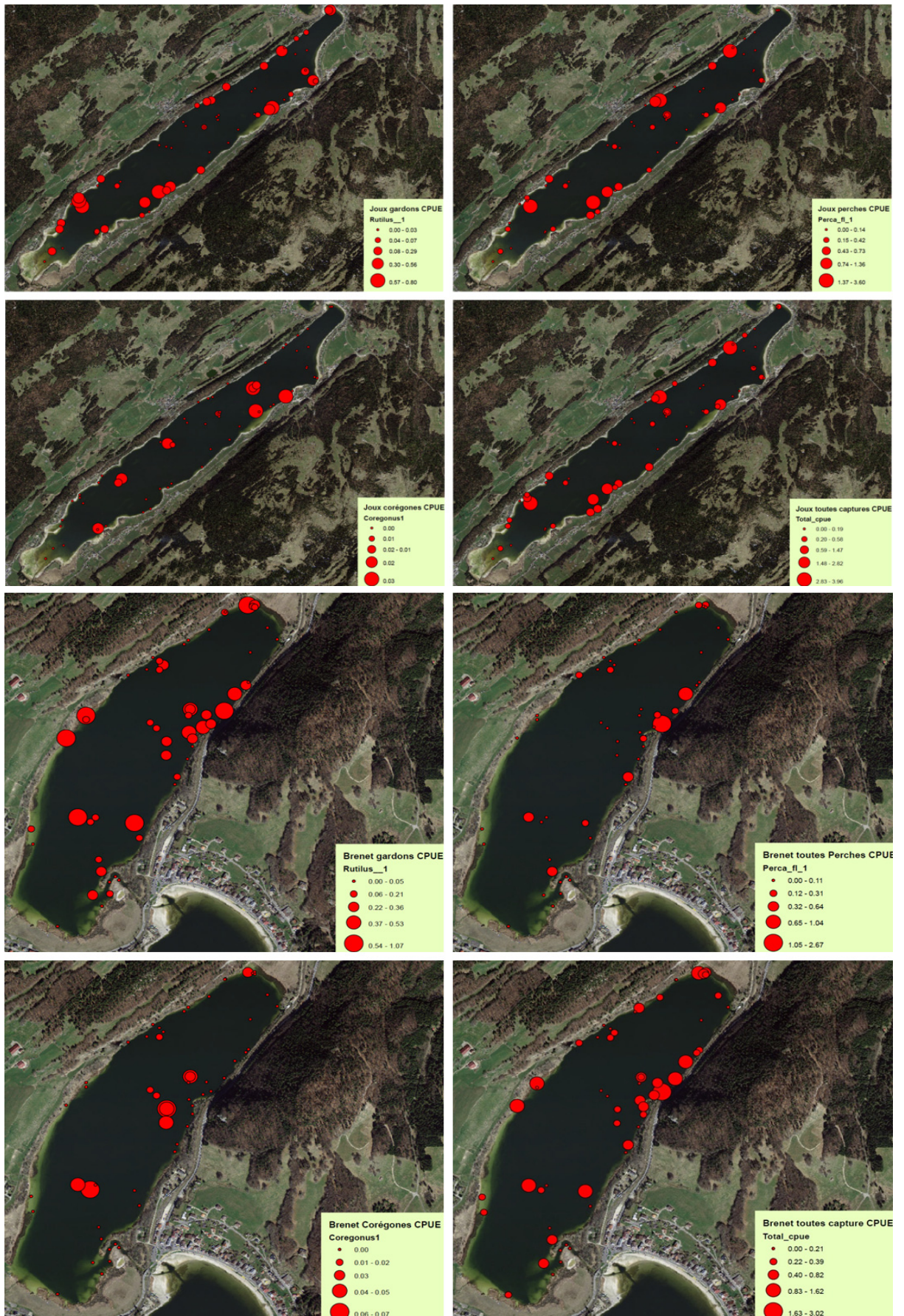


Figure 3.17 : Répartition géographique des captures totales et pour les différentes espèces aux filets (Verti/CEN) sur les deux lacs.

La représentation géographique des captures aux filets confirme également que les poissons sont répartis sans tendance particulière à travers le plan d'eau : les corégones sont essentiellement pris en zone pélagique à l'inverse des gardons et des perches dont les densités apparaissent plus fortes en bordure des plans d'eau (Figure 3.17). A noter toutefois que pour chaque lac, l'affluent principal est apparemment déserté par l'ichtyofaune ; et ce, malgré les pêches systématiques réalisées et la présence d'une mosaïque d'habitats attractive sur le lac Brenet (Figure 3.7).

3.3.4 Lac de Joux : rôle des habitats

En l'absence de participation directe des berges, les hydrophytes constituent un refuge pour la biodiversité: 7 espèces sur 10 y ont été recensées (Figure 3.18 & Figure 3.19). A noter également les faibles captures dans les affluents et effluents, qui constituent habituellement des habitats très poissonneux. Enfin, les densités de vandoise pêchées à l'électricité dans les blocs et galets sont exceptionnelles.

Filets verticaux littoraux [ind/1000m ² de filets posés] (CPUE)		Type d'habitats pêchés	Perche	Gardon	Chevesne	Brochet	Tanche	Vandoise	Ombre	Lotte	Truite	Corégone	Diversité par méthode	Diversité cumulée des 2 méthodes
Habitats structurés	Eau courante	Affluent	35.7	83.3					23.8				3	3
		Efférence	119.0	428.6									2	2
	Végétation	Hydrophyte	57.1	185.7	7.1	7.1		57.1					5	7
Habitats non structurés	Minéral	Galet	47.6	321.4			11.9	11.9					4	4
		Bloc	114.3	128.6				14.3					3	4
	Dalle		71.4	53.6									2	2
		Fond nu	14.3	114.3					28.6				3	3
Pêche électrique [ind/1000m²] (CPUE)														
Habitats structurés	Eau courante	Affluent											0	3
		Efférence	habitat non échantillonné à l'électricité											2
	Végétation	Hydrophyte	65.6	75.0		3.1	3.1	162.5		6.3			6	7
Habitats non structurés	Minéral	Galet					562.5						1	4
		Bloc	93.8				731.3		25.0				3	4
	Dalle		habitat non échantillonné à l'électricité											2
		Fond nu		114.3										1

En rouge habitat au peuplement le plus diversifié

Figure 3.18 : Répartition des captures par type d'habitats littoraux sur le lac de Joux . (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)

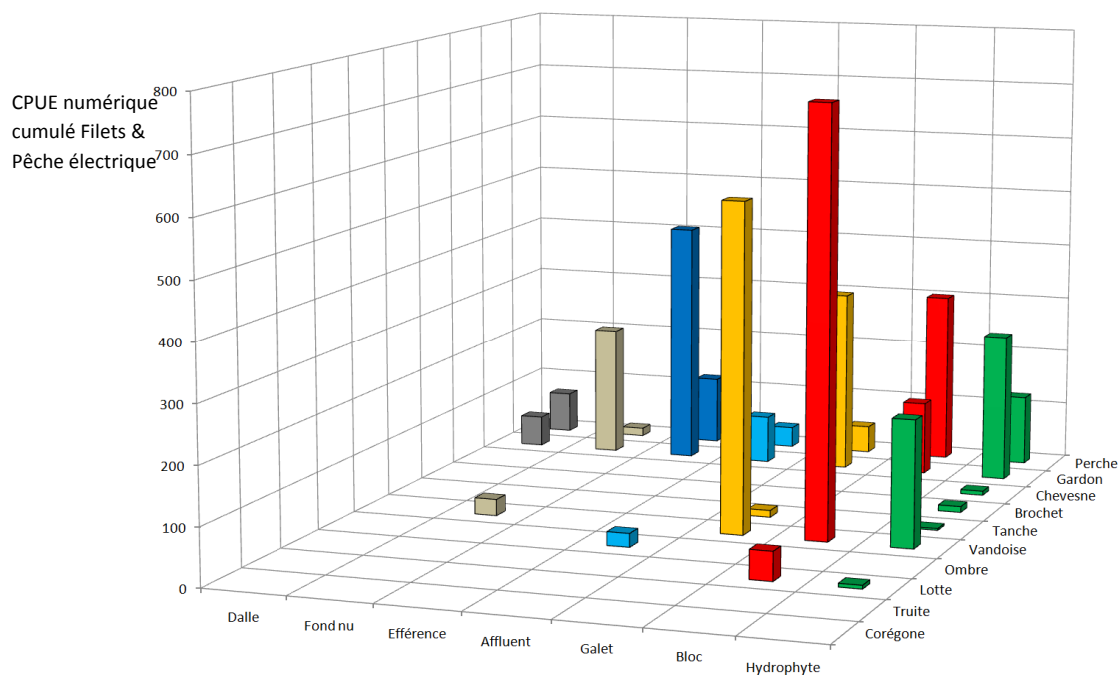


Figure 3.19 : Diversité capturées par type d’habitats littoraux sur le lac de Joux. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)

3.3.5 Lac Brenet : rôle des habitats

Comme dans la plupart des lacs suisses, les blocs et les galets élaborent le berceau de la biodiversité: cumulé, 8 espèces sur 10 y ont été pêchées (Figure 3.20 & Figure 3.21). A noter également la diversité, non spécifiquement inféodée aux eaux courantes, capturée en faible densité (Figure 3.17) dans l’affluent.

Filets verticaux littoraux [ind/1000m ² de filets posés] (CPUE)		Type d’habitats pêchés	Perche	Gardon	Chevesne	Brochet	Tanche	Rotengle (N+S)	Vandoise	Lotte	Truite	Corégone	Diversité par méthode	Diversité cumulée des 2 méthodes	
Habitats structurés	Eau courante	Affluent		11.9			11.9	11.9					3	5	
		Hélophyte		200.0				214.3					2	3	
	Végétation	Hydrophyte	9.6	19.2	4.8			173.1					4	4	
		Branchage	39.7	111.1	23.8			111.1					4	4	
		Galet	62.5	241.1	17.9			53.6	26.8				5	6	
	Minéral	Bloc	10.2	91.8	30.6								3	5	
Fond nu			297.6		23.8	11.9	47.6					4	4		
Habitats non structurés	Pêche électrique [ind/1000m ²] (CPUE)														
	Eau courante	Affluent			76.9	9.6								2	5
		Végétation	Helophyte		83.3										1
	Hydrophyte			216.7										1	4
	Branchage		25.0	25.0										2	4
	Minéral	Galet	15.6	187.5	31.3						109.4			4	6
Bloc										250.0	50.0		2	5	
	Fond nu				habitat non échantillonné à l’électricité								4		

Figure 3.20 : Répartition des captures par type d’habitats littoraux sur le lac Brenet. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)

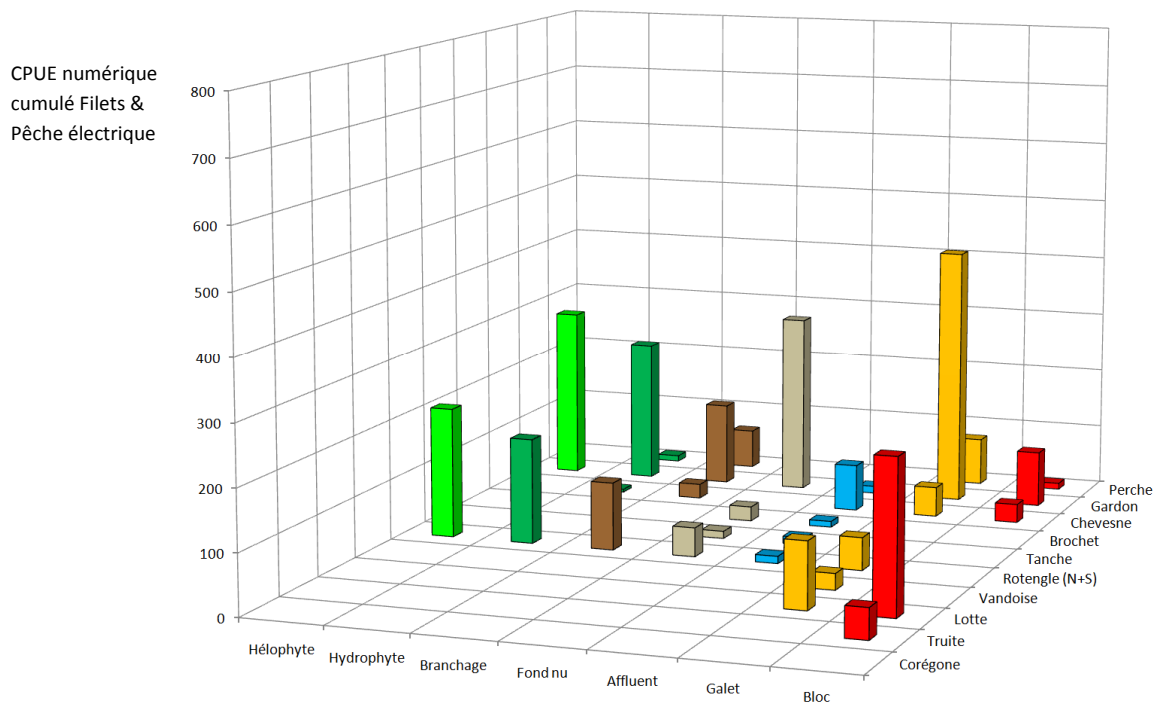


Figure 3.21 : Diversité capturée par type d'habitats littoraux sur le lac Brenet. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)

3.4 Comparatif à d'autres lacs

3.4.1 Structure comparée des populations des espèces les plus communes.

Dans l'ensemble, la structure des populations des espèces principales du lac Brenet est correctement équilibrée, avec plusieurs cohortes nettement distinctes. Sur le lac de Joux en revanche, les corégones souffrent d'un manque proportionnel de juvéniles. Pour la perche, c'est l'inverse : les adultes se font rares comparativement à la densité d'estivaux présente.

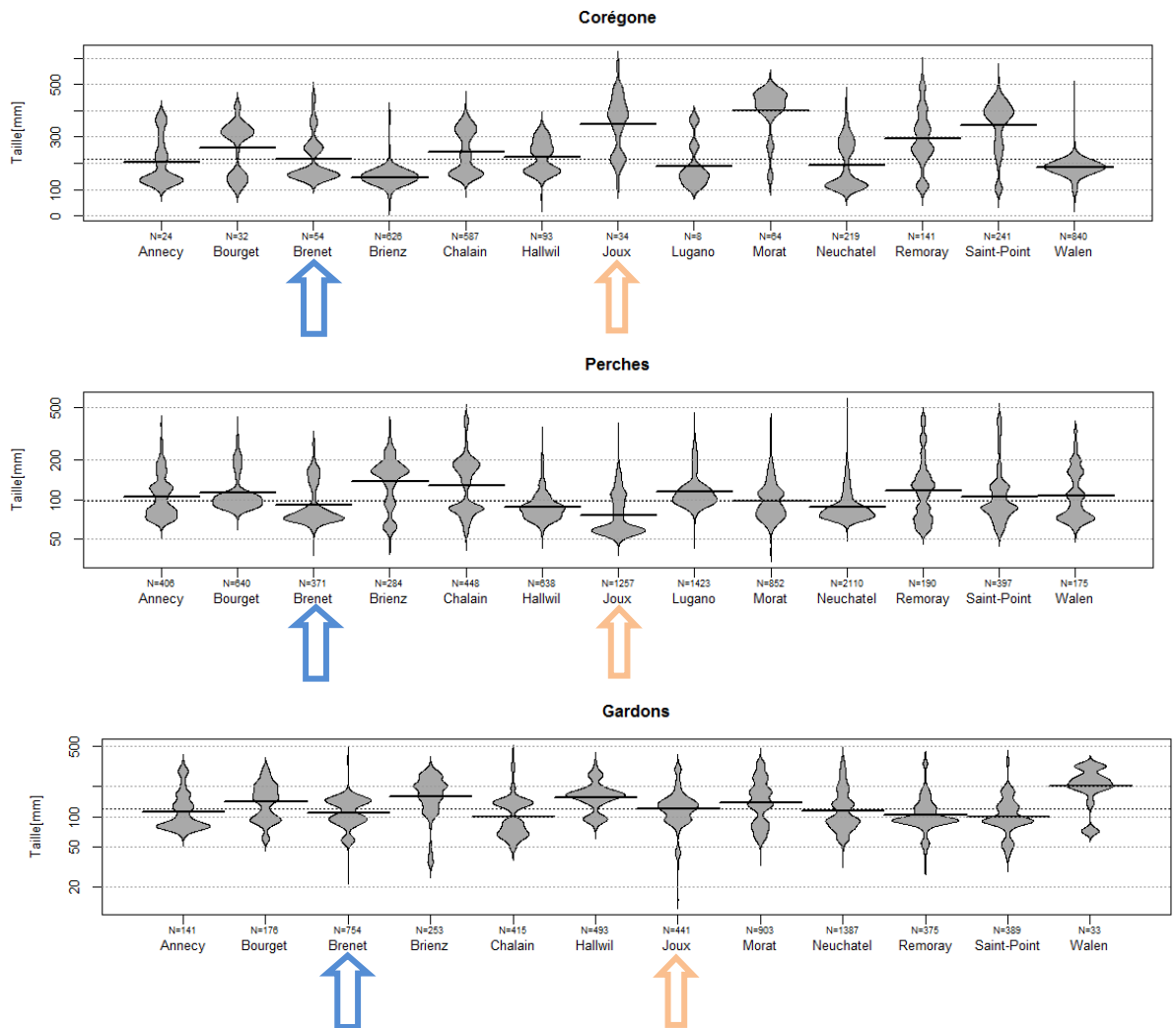


Figure 3.22 : Structure des populations comparées de quelques espèces les plus communes.

3.4.2 Rendement pêche comparé aux filets CEN :

A titre de comparaison à l'aide du protocole CEN, le lac de Joux est proche du Lac de Neuchâtel avec une biomasse en place moyenne à faible, composée essentiellement de petits poissons. A noter qu'il possède nettement moins de biomasse et de poissons que le lac Saint-Point en France voisine.

Le lac Brenet apparaît similaire au lac de Morat et Rémoray(F)(Figure 3.23).

Deux lacs à biomasse fort différente

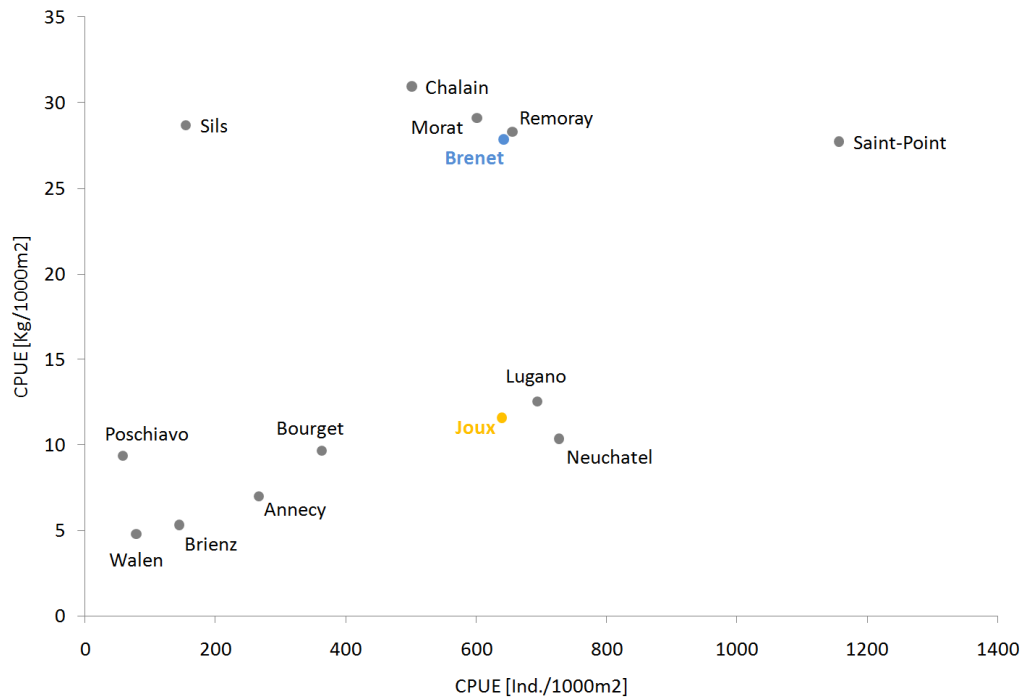


Figure 3.23 : Rendement de pêche comparé, toute espèce confondue, par application du protocole CEN de la Directive cadre européenne sur l'eau (prEN14757, 2005).

3.5 Gestion halieutique

3.5.1 Situation actuelle

Les trois principales espèces prises par les pêcheurs sur les Lacs de Joux et de Brenet en 2011 sont la palée, la perche et le brochet (Figure 3.24). Il est important de souligner que la statistique de la pêche ne distingue que 7 des 12 espèces dont la présence a été confirmée par l'échantillonnage pisciaire.

*3 espèces cibles
palée, brochet,
perche*

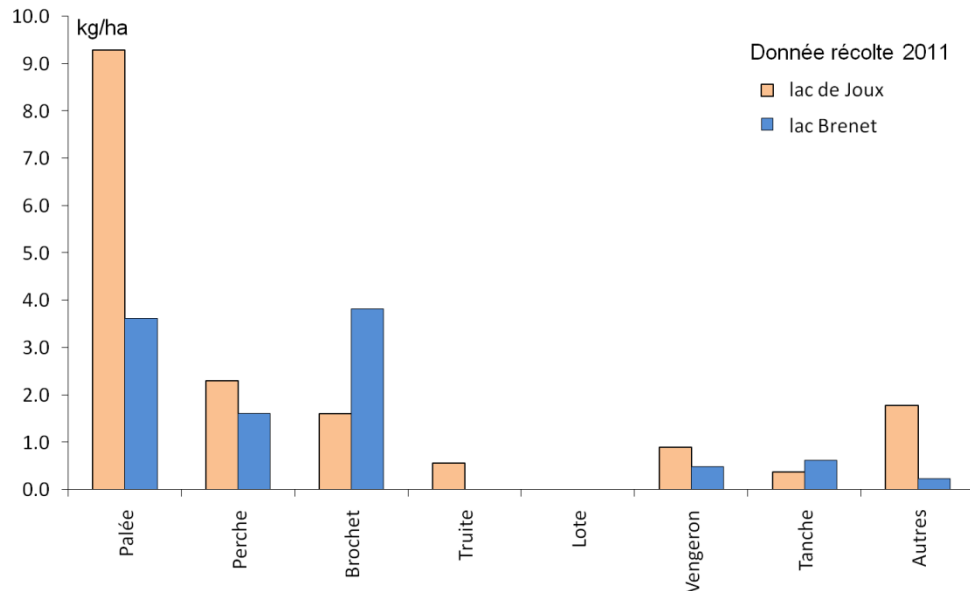


Figure 3.24 : Statistique halieutique des Lacs de Joux et Brenet en 2011, pêche de loisir et professionnelle cumulée. (données DGE-BIODIV)

En comparant à l'échelle nationale, les captures cumulées de ces espèces prisées restent à un niveau moyen (Figure 3.25). Précisons toutefois que la variation de pression de pêche d'un lac à l'autre est inconnue et qu'en conséquence ces chiffres comparatifs sont à considérer avec réserve.

*Une récolte de
pêche moyenne à
l'échelle nationale*

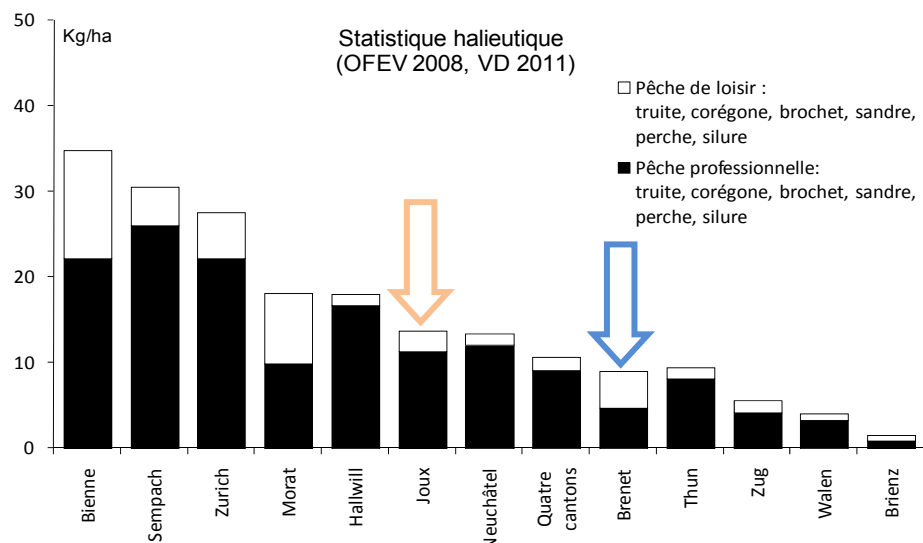


Figure 3.25 : Statistiques halieutiques comparées des lacs entièrement sur territoire suisse en 2008. Cumul captures de perche, sandre, brochet, silure, truite, corégone (données DGE-BIODIV & OFEV).

3.5.2 Situation historique

Selon les statistiques halieutiques, la récolte de la pêche sur les lacs Brenet et de Joux atteint son paroxysme deux fois : en 1982 et en 2000 (Figure 3.26). La situation actuelle est comparable à celle des années 90. De plus, il est important de remarquer que les captures d'espèces cyprinicoles sont restées stables au fil du temps, quel que soit le degré de pollution organique subi.

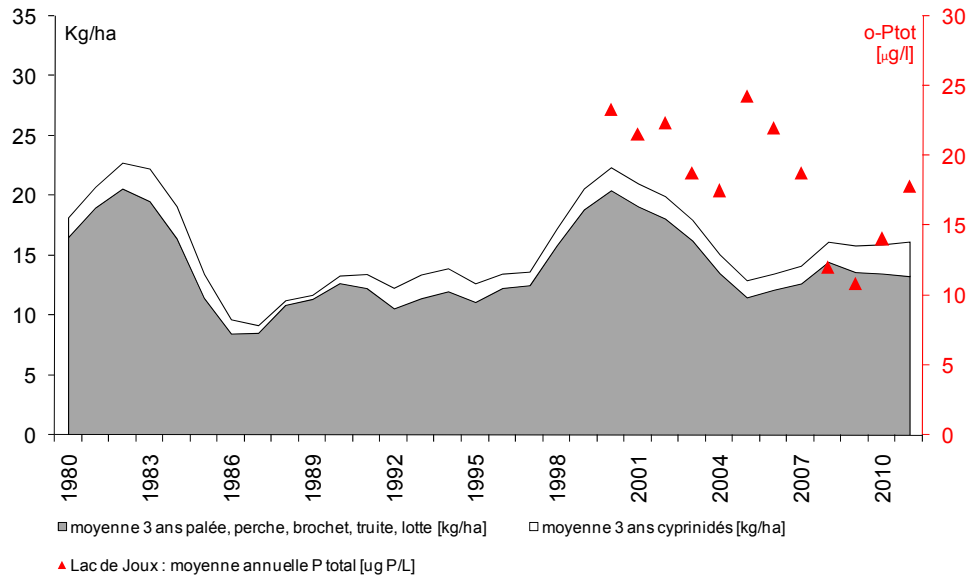


Figure 3.26 : Evolution des statistiques halieutiques (pêche de loisir et professionnelle cumulée) des lacs de Joux et Brenet cumulés (données DGE-BIODIV).

Le détail des espèces économiquement recherchées indique que la récolte de corégones varie dans le temps alors que les perches et surtout la truite est régulière depuis les années 80. La pêche de la lotte est, quant à elle très faible. Cependant, les variations d'efforts de pêche au fil du temps n'étant pas connues, il convient ici également de considérer ces diverses tendances avec réserve.

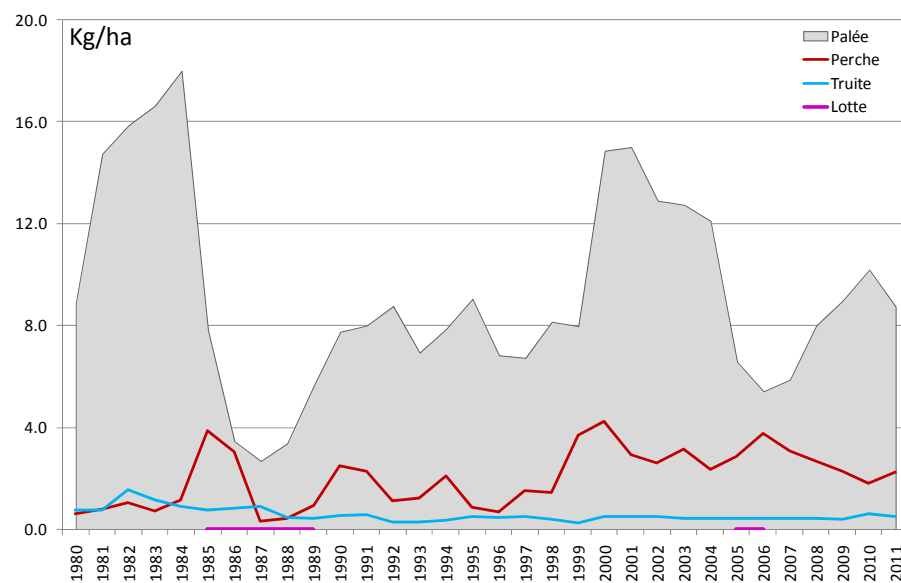


Figure 3.27 : Evolution de la récolte des salmonidés, de la perche et de la lotte dans les lacs de Joux et Brenet cumulés (données DGE-BIODIV).

3.5.3 Récolte halieutique vs Rendement des captures

Lac de Joux :
Corégone recherché
par la pêche

Sur le lac de Joux, une comparaison avec les densités relatives capturées en septembre 2011 révèle le caractère très sélectif de la pêche pour le corégone. En effet, ce groupe constitue une bonne part de la récolte halieutique alors que dans le plan d'eau, il ne domine apparemment pas le peuplement (Figure 3.28).

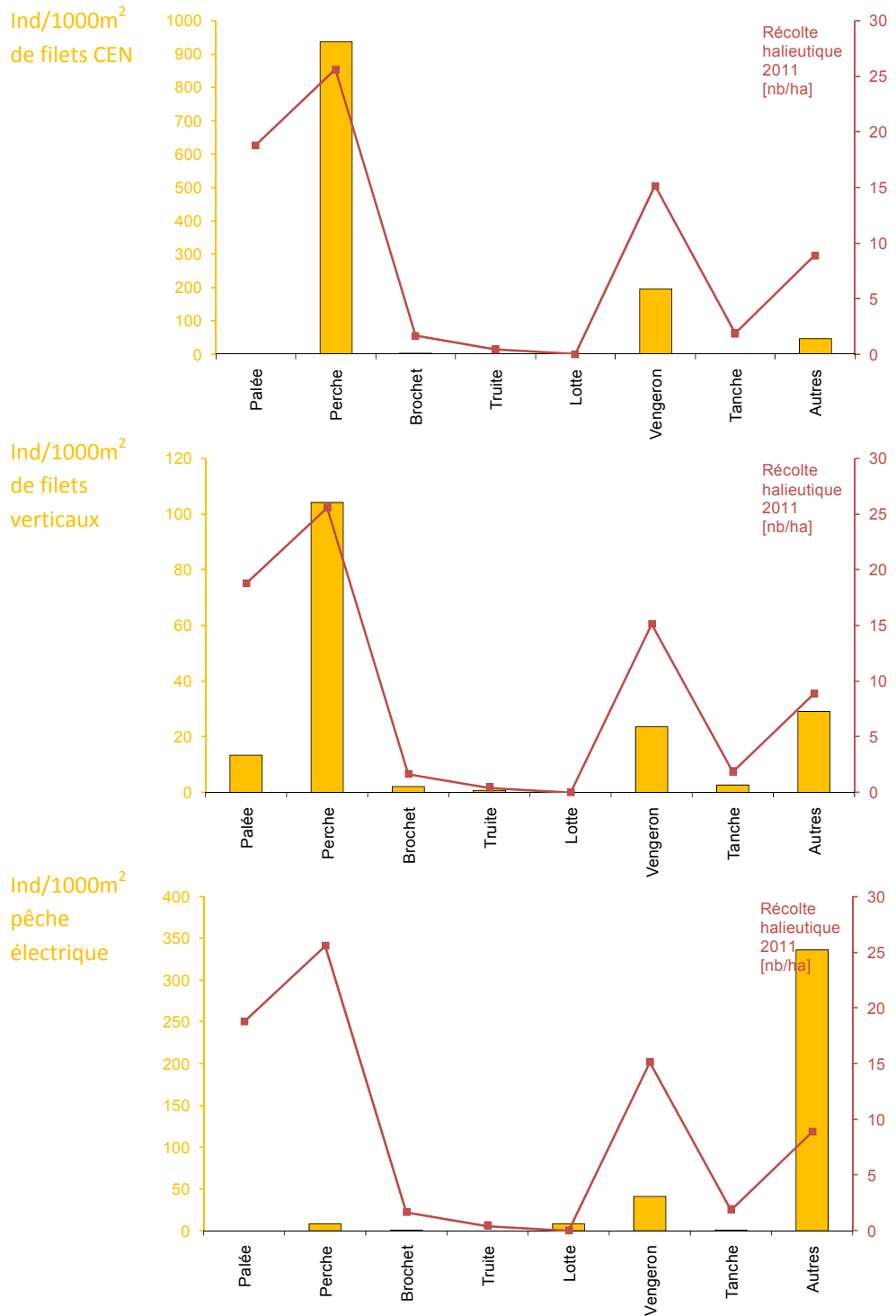


Figure 3.28 : Lac de Joux - Estimation des proportions relatives de chaque espèce en 2011, déterminée à partir des trois protocoles d'inventaire réalisés, comparée à la récolte halieutique déclarée en 2011 (pêche de loisir et professionnelle cumulées, données DGE-BIODIV).

Lac Brenet :
Echantillonnage
proportionnel à la
récolte de pêche

Cette observation est moins flagrante sur le lac Brenet, où comparativement, le corégone est peu recherché. Dans l'ensemble, les captures des pêcheurs sont remarquablement proportionnelles aux résultats de l'échantillonnage 2011, sauf pour la zone littorale prospectée à l'électricité (Figure 3.23)

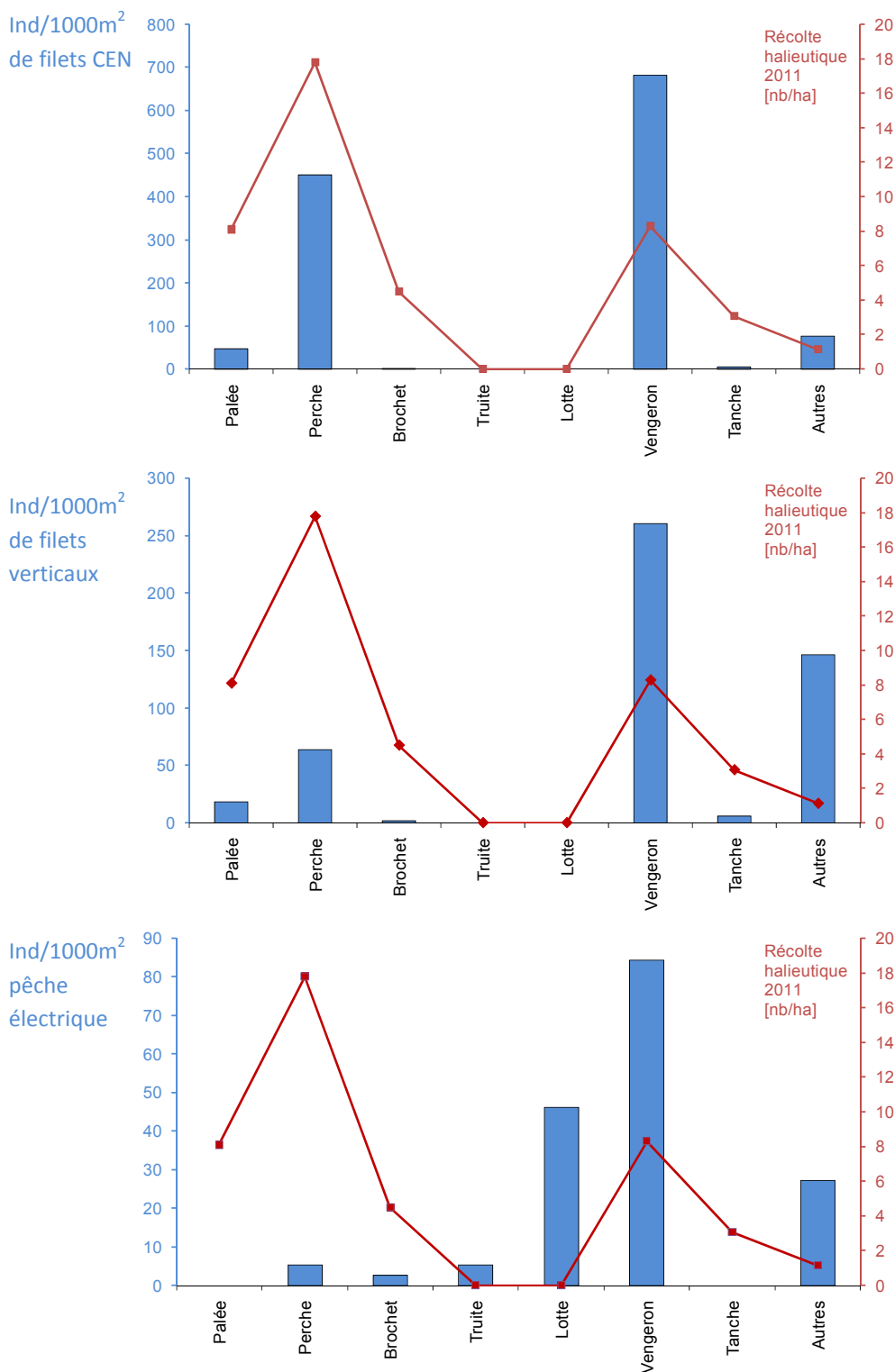


Figure 3.29 : Lac Brenet - Estimation des proportions relatives de chaque espèce en 2011, déterminée à partir des trois protocoles d'inventaire réalisés, comparée à la récolte halieutique déclarée en 2011 (pêche de loisir et professionnelle cumulées, données DGE-BIODIV).

De plus, grâce aux filets multi-maillages utilisés (5 à 60 mm), les captures par chaque maille des espèces les plus communes et à chaque taille d'individu peuvent être connues (Figure 3.30).

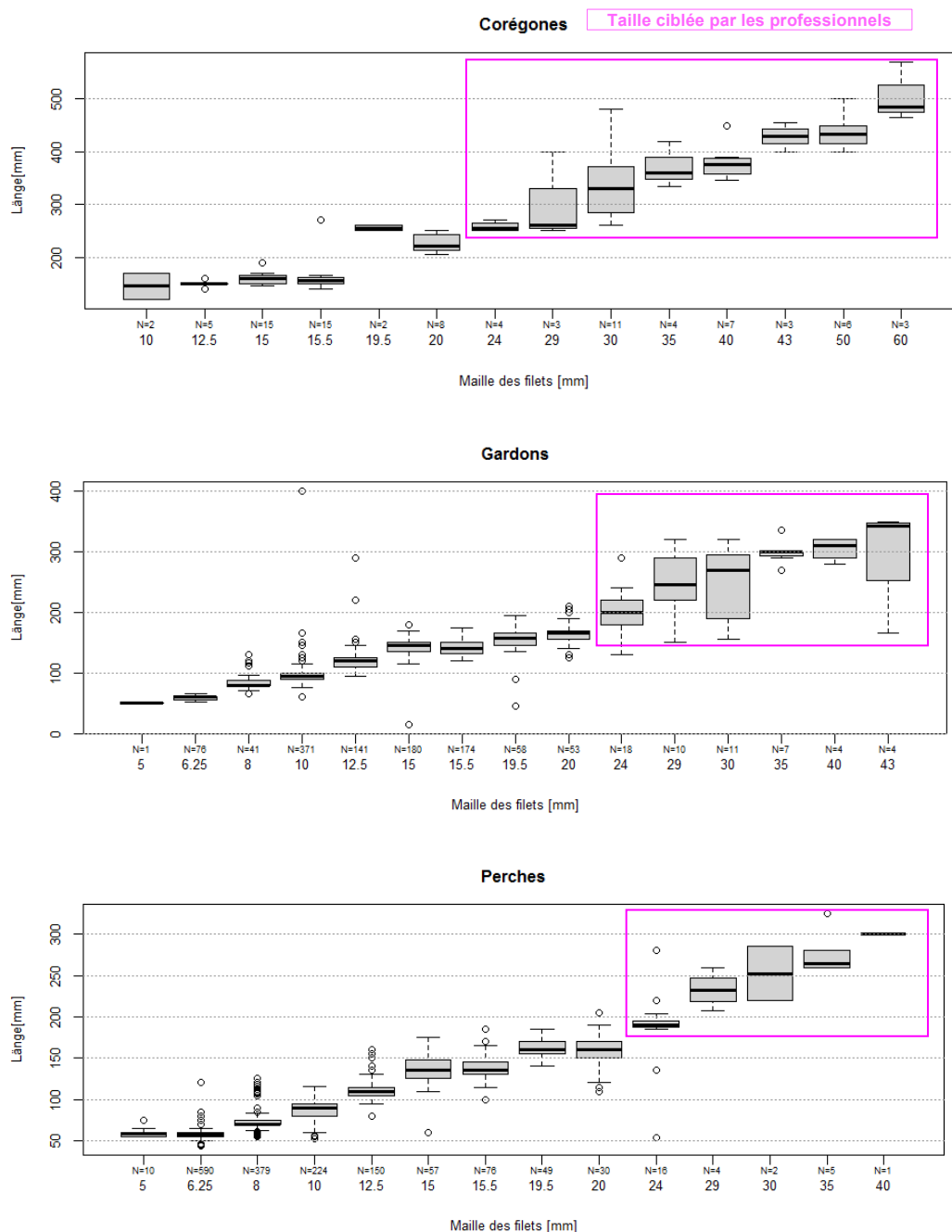


Figure 3.30 : Taille des individus capturés en fonction des mailles de filets verticaux et CEN posés en 2011, lacs de Joux et Brenet cumulés.

Il est donc possible de vérifier si la pression de pêche effectuée par les professionnels avec des mailles à partir de 23 mm a un impact sur la structure des populations.

Or, la pression de pêche sur le Lac de Joux ne semble pas influencer la structure de la population des corégones : les tailles ciblées par la pêche professionnelle ne sont proportionnellement pas plus faible en densité (Figure 3.31).

Lac de Joux :
carence en juvéniles
de corégone

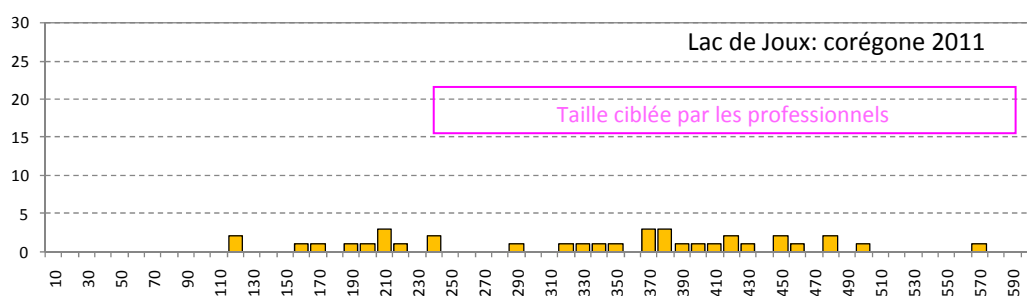


Figure 3.31 : Lac de Joux : estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2011 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

Sur le lac Brenet, la pression de pêche semble avoir également peu d'effet (Figure 3.32). La population de corégones apparaît même mieux structurée que celle du lac Saint-Point en France voisine, traversé par le Doubs, également à 1000m d'altitude et ayant une surface de 5.2 km² et 43 m de profondeur sur lequel le même échantillonnage a été appliqué en 2012 (Figure 3.33).

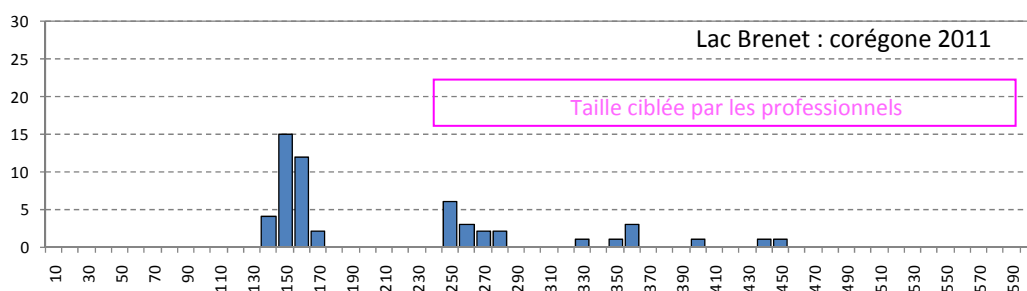


Figure 3.32 : Lac Brenet - estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2011 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

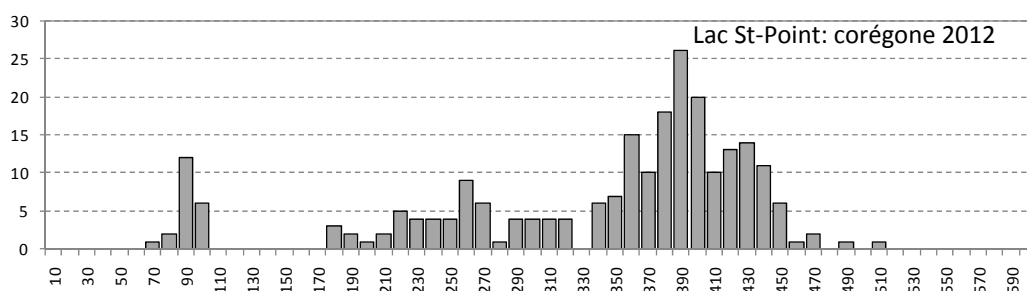


Figure 3.33 : Lac Saint-Point - estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

Cependant, il est important de préciser que sur ces deux derniers lacs, le renouvellement de la population semble assuré : les juvéniles de l'année sont bien représentés. En revanche, sur le lac de Joux, l'absence de juvénile est fort préoccupante.

Pour la perche, la pêche semble avoir un peu d'impact (Figure 3.34). La proportion d'adultes de grandes tailles est en effet plus élevée sur le lac Saint-Point qui ne fait l'objet d'aucune pêche professionnelle. Toutefois, dans les deux lacs de la Vallée de Joux, le développement des populations de perches semble durable, avec un recrutement conséquent.

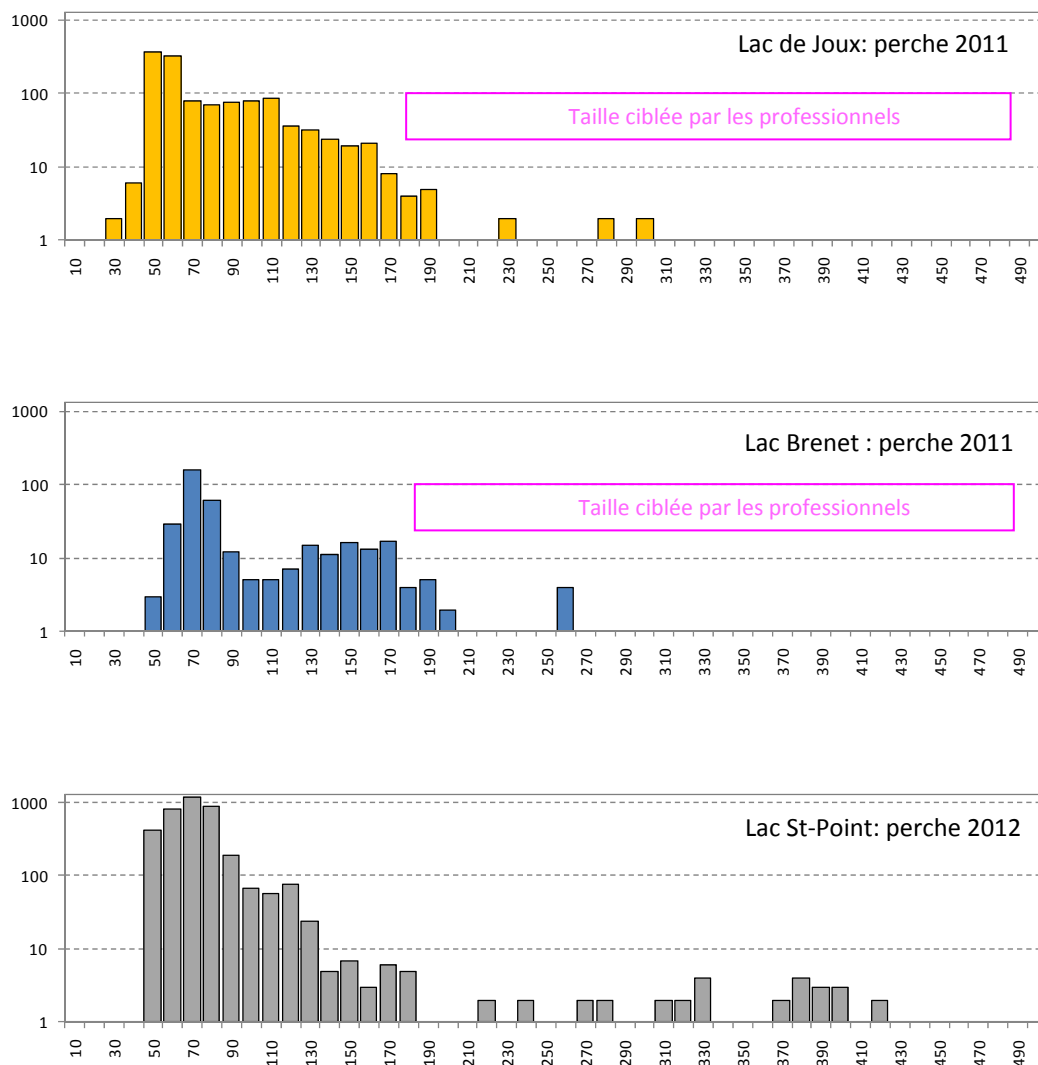


Figure 3.34 : Estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour la perche pour les lacs de Joux et de Brenet en 2011 et de Saint-Point en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

Enfin pour le gardon, l'absence d'intérêt économique pour cette espèce fait que la structure des populations ne diffère pas entre lacs pêchés professionnellement et lacs voués exclusivement à la pêche de loisir, à tel point que c'est même le lac de Joux qui présente un peuplement de gardon le mieux équilibré (Figure 3.35).

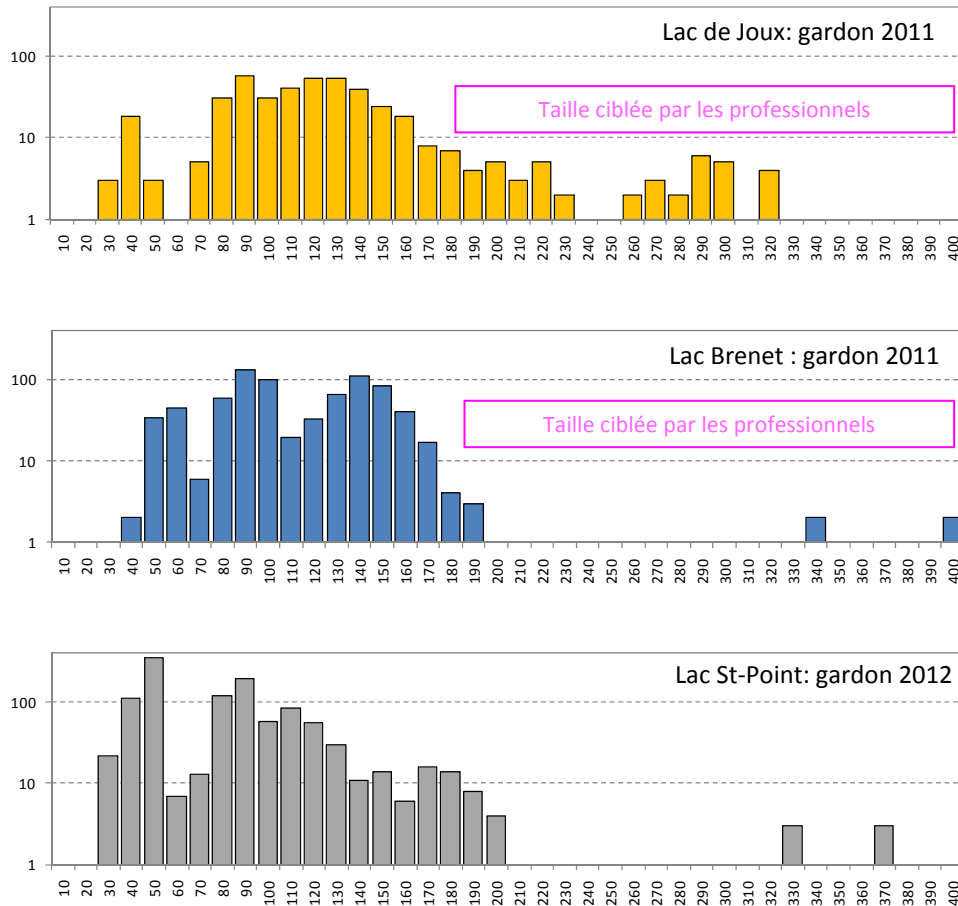


Figure 3.35 : Estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le gardon pour les lacs de Joux et de Brenet en 2011 et de Saint-Point en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

4 Synthèse et Conclusion

4.1 Diagnose écologique

La pollution organique symbolisée par les teneurs en phosphore de la colonne d'eau a nettement diminué ces trente dernières années. Néanmoins, la désoxygénation de la zone profonde en fin de stratification estivale semble s'être aggravée. Pour les deux lacs, les captures faibles de lottes réalisées exclusivement en zone de bordure en sont une conséquence. Comme pour le lac de Neuchâtel (Périal, 2013), d'autres facteurs dégradant la qualité d'eau sont à rechercher afin d'expliquer cette évolution. Il est en effet pour le moins surprenant que les millions de francs investis dans l'épuration depuis les années 80 aient réussi à réduire le taux de phosphore dissous, sans améliorer l'oxygénation des couches profondes en automne, ni modifier la récolte de la pêche.

Pour preuve complémentaire, les faibles diversité et densité de poissons observées à l'arrivée des affluents principaux de chaque plan d'eau suggèrent que les eaux courantes qui traversent la vallée de Joux souffriraient d'un problème de qualité. Sur la plupart des lacs investis par le "Projet lac", l'embouchure des tributaires constitue un pôle d'intérêt pour l'ichtyofaune. Or, à la vallée de Joux, la situation est clairement différente. Les niveaux d'eau extrêmement bas en 2011 ont peut-être induit cette situation. Néanmoins, une réflexion serait à mener pour améliorer globalement la ressource en eau du réseau hydrographique.

D'autant plus que le littoral lacustre est remarquablement peu aménagé. La plupart des constructions sont en réalité éloignées des rives. La morphologie des berges a donc su conserver la plupart de son potentiel. Cependant, la littérature ancienne nous apprend que pour la production d'hydroélectricité le niveau d'eau a été abaissé de 3 à 4m en 150 ans. En moyenne, une perte de surface de 2.9 km² et de plus de 30 % du volume des deux lacs confondus en a résulté. En outre, et c'est peut être le plus dommageable, une artificialisation du régime hydrologique pour les besoins de la production d'énergie a été imposée :

- Sur le lac de Joux, les derniers habitats prisés pour la reproduction sont donc parfois inaccessibles ou mis à sec juste après la ponte. La très faible proportion de jeunes corégones observée et la densité globale du peuplement pisciaire nettement inférieure à celle du lac Saint-Point, alter ego français du Lac de Joux, en sont vraisemblablement une répercussion.
- Sur le lac Brenet, la végétalisation croissante des rives provoquée par la réduction des amplitudes de variations de niveaux d'eau et la déconnexion du seul affluent ont vraisemblablement favorisé le développement des cyprinidés au détriment des salmonidés, de la truite notamment. Enfin sur ce plan d'eau, le transit de l'ensemble des eaux de turbinage en provenance du lac de Joux doit également influencer fortement son métabolisme physico-chimique.

Ainsi, force est de constater que les problèmes rencontrés par les plans d'eau ne se résument pas au caractère atypique en termes de basses eaux de l'année 2011. En effet, cet événement qui a fortement marqué les esprits à l'échelle locale, est en réalité l'écueil le plus criant des modifications fondamentales imposées au régime hydrologique plutôt que la cause principale des maux subis par les lacs de la vallée. Une réflexion de fond devrait ainsi impérativement être engagée afin d'adapter au mieux l'exploitation hydroélectrique aux cycles biologiques de la faune et de la flore lacustres.

Malgré ces transformations radicales de qualité d'eau et de morphologie, il s'avère que l'ichtyofaune de la vallée de Joux a conservé sa diversité originelle. En effet, les cinq espèces historiquement décrites (truite, perche, brochet, lotte et un cyprin) sont toujours présentes. A celles-ci s'ajoutent six autres espèces d'origine hydrogéographique proche, une espèce invasive et une écrevisse américaine.

En définitive, le patrimoine ichtyologique de la vallée a donc été et demeure toujours mis à mal. Par chance, il possède encore l'ensemble de son potentiel. L'espoir d'une restauration est donc réel.

4.2 Exploitation halieutique

Tout d'abord, il est important de préciser que malgré la pose de plus de 120 filets multi-mailles et la réalisation de 50 pêches électriques de bordure durant la semaine d'échantillonnage, les frappes sur le peuplement (175 kg au total) sont restées de nature « chirurgicale » comparativement aux captures annuelles cumulées sur les deux lacs par la pêche amateur et professionnelle qui ont dépassé les 16'000 kg en 2011.

Cette technique pertinente d'échantillonnage multi protocolaire est donc supportable pour le peuplement lacustre et procure des résultats parfaitement reproductibles qui auront l'avantage de constituer un outil de gestion essentiel ; une base de donnée unique en Suisse permettant à terme de mener à bien un suivi de la qualité des plans d'eau à l'échelle nationale à partir de leur ichtyofaune. La valeur de cette information est donc supérieure à celle issue des statistiques halieutiques non standardisées et toujours biaisées par des intérêts économiques.

Cependant, ces données historiques de statistique de la pêche indiquent que la récolte de corégones peut être très variable dans le temps. Une relation avec la réussite de la fraie et la survie des œufs en fonction des contraintes de niveaux d'eau imposées par l'exploitation hydroélectrique est certainement à approfondir. Par exemple en 2011, la mise à sec dès la fin février des zones de fraie de bordure, utilisées de novembre 2010 à janvier 2011 alors que le lac était deux mètres plus haut, a vraisemblablement anéanti la plupart de la fraie de l'année, qui n'avait pas terminé son incubation embryonnaire. En effet, les juvéniles de l'année sont quasiment absents sur le lac de Joux ; alors qu'à Brenet ou à Saint-Point, sans baisse drastique de niveau d'eau, la proportion de juvéniles de l'année structure

normalement la population. Les mêmes variabilités de captures peuvent être observées pour la perche qui dépend également des habitats lacustres pour se reproduire. En revanche, la truite, dont la réussite du développement embryonnaire est indépendante du niveau du lac, présente une récolte stable. Cependant, l'accès aux frayères à l'automne pourrait également être contraint par l'artificialisation des niveaux d'eau.

Dans l'ensemble, l'image issue des statistiques de capture est proche de celle obtenue par la pêche aux filets. Seules les proportions de corégones et de perches divergent. L'impact de l'intérêt ciblé par les activités halieutiques sur les espèces économiquement recherchées peut sembler -t-il être observé sur la structure de la population de perches. La comparaison avec le lac Saint-Point, non pêché professionnellement, apparaît en outre en être le témoin supplémentaire. Toutefois, le recrutement des populations demeure globalement cohérent, ce qui est la preuve que l'activité pêche reste durable, et ce, même pour le corégone du lac de Joux. En effet, les densités d'adultes y sont identiques à celles du Lac Brenet où la reproduction apparaît fonctionnelle. Les carences en juvéniles ne peuvent donc pas être imputées à une surpêche.

4.3 Conclusion

Après avoir subi un abaissement des niveaux d'eau depuis le 19^{ème} siècle, une artificialisation systématique du régime hydrologique au 20^{ème}, et donc pas seulement en 2011, ainsi qu'une pollution organique forte ces quarante dernières années, la situation des peuplements des lacs de Joux et Brenet ne peut être considérée comme optimale. Toutefois, le lac Brenet a mieux su tirer son épingle du jeu. Il présente un peuplement à dominance cyprinicole, qui, certes diverge assurément de son état originel, mais qui reste à peu près équilibré. Le sort de la population de truites apparaît cependant compromis. Pour le lac de Joux, le calcul de l'indice de diversité de Shannon, servant à quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un peuplement, le place à l'une des dernières positions parmi les divers autres plans d'eau échantillonnés par le "Projet Lac". En outre, l'état du peuplement des corégones est critique. Sa situation est donc réellement préoccupante.

De plus, les causes de perturbation ne sont pas à rechercher dans une activité halieutique inadaptée. En effet, bien que les pêcheurs ciblent leurs captures et qu'ils aient apparemment un impact sur la structure des populations de perches, aucun signe d'exploitation non durable n'a pu être observé.

En conséquence, si une amélioration de l'intérêt patrimonial de l'ichtyofaune de la vallée de Joux est recherchée, il conviendra préférentiellement de prioriser les actions qui visent l'assainissement et la restauration du réseau hydrographique pris dans sa globalité.

5 Perspectives :

5.1 Recommandations environnementales

Il convient en toute logique de poursuivre les efforts en matière d'épuration et de limiter les intrants d'origine agricole et industrielle, ce, afin que le réseau hydrographique tende à retrouver sa qualité d'eau d'autrefois.

Parallèlement, la sauvegarde morphologique des rives est à promouvoir. Rares sont les lacs suisses qui possèdent un littoral non aménagé. Les lacs de Joux et Brenet sont parmi les mieux préservés. Il convient donc de les protéger.

Cependant, afin que cette conservation des habitats littoraux puisse produire une biocénose riche et diversifiée, il est impératif de retrouver des variations de niveaux d'eau qui respectent les rythmes biologiques. Pour ce faire, une négociation avec les usiniers devrait impérativement être engagée. Cette dernière pourrait être à terme largement bénéficiaire pour les lacs de la Vallée de Joux sans forcément provoquer de perte de rendement énergétique.

Finalement, pour que le gain écologique soit optimal, une politique systématique de revitalisation morphologique des affluents et des zones humides environnantes devrait être menée en parallèle. En particulier, sur le lac Brenet qui ne possède aujourd'hui plus de tributaire fonctionnel.

5.2 Recommandations halieutiques

A l'heure actuelle, aucun indice de gestion halieutique inadaptée n'a pu être mis en évidence par le diagnostic établi. Toutefois, compte tenu du degré de pollution subi et des hivers rigoureux de la vallée de Joux, une piste en faveur d'une modification de réglementation peut être évoquée. Cette dernière n'engage que les auteurs de l'étude et devra, pour autant qu'elle soit retenue par les gestionnaires cantonaux, être discutée en détails avec les milieux de la pêche.

Il s'agirait pour la pêche professionnelle de supprimer la limite de maille de 23 mm pour la capture de la perche. Le prélèvement dans les stocks dès les plus jeunes stades serait promu. La perte de biomasse pour la récolte halieutique, issue des mortalités récurrentes des juvéniles intervenant généralement durant leur premier hiver, serait ainsi réduite tout en limitant la pression de pêche sur les adultes. La robustesse des populations s'en trouverait vraisemblablement améliorée et les poissons à croissance lente ne seraient plus autant favorisés. Dans les faits et compte tenu des gradients de captures calculés (Figure 5.1), une maille de filet entre 9 et 11 mm est à proposer. Elle permettrait d'attraper les perches de l'année au fil des saisons. Ce transfert partiel de pression de pêche permettrait aussi d'assurer un rendement plus stable d'une année à l'autre, comme c'est le cas au lac du Bourget et à Annecy.

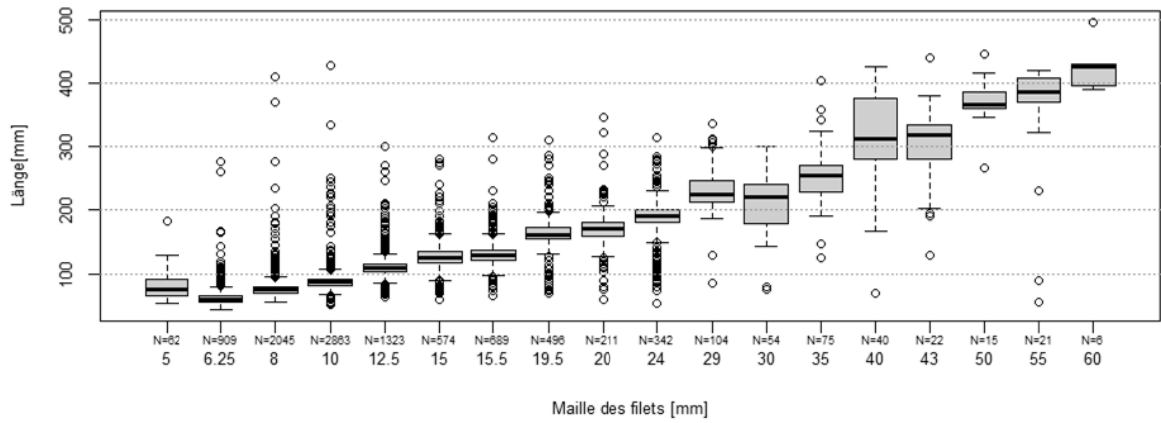


Figure 5.1 : Gradient de taille de captures pour chaque maille de filet calculé pour la perche sur tous les lacs échantillonnés par le Projet Lac. (N total= 9851 individus)

6 Bibliographie

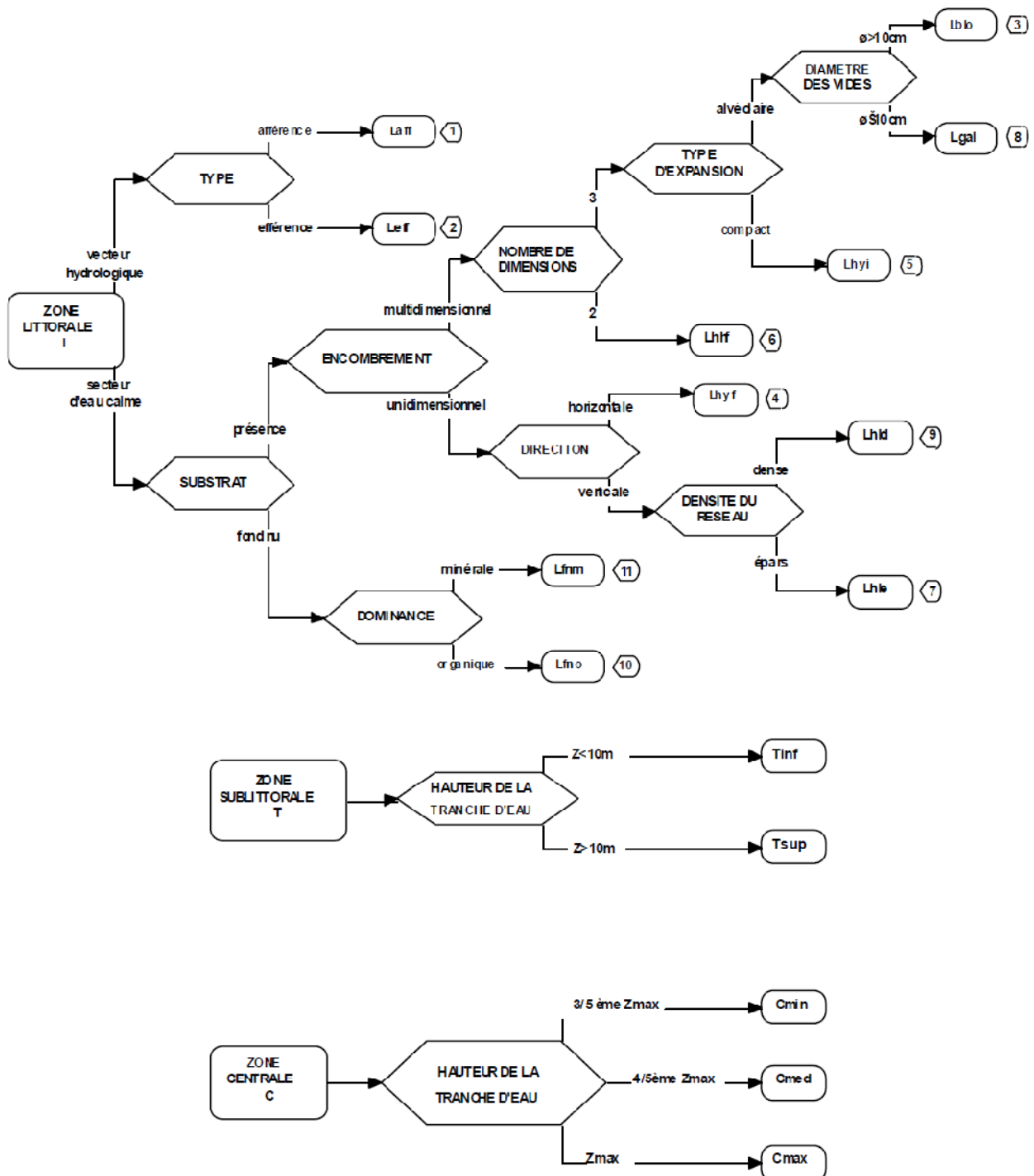
- Agassiz, L. 1835.** Description de quelques espèces de cyprins du Lac de Neuchâtel, qui sont encore inconnues aux naturalistes. Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel 1/1835. 1835, p. 1/.
- Aubert, S. 1950.** Le gazonnement de la grève exondée du lac Brenet. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. 1950, pp. 64(1948-50).
- BAFU. 2003.** Pisces Atlas. Bern : Zaugg B., Stucki P., Pedroli J.C., Kirchhofer A., , 2003.
- Calame, J et Paschoud, C. 1946.** Amélioration du pouvoir d'accumulation des lacs de Joux et Brenet. Bulletin technique de la Suisse romande. 1946, p. 72(1946).
- Degiorgi, D et Grandmottet, JP. 1993.** Relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre, définition des modalités spatiales d'une stratégie de prélèvement reproductible. Bull. Fr. de Pisc., 329. 1993, pp. 199-220.
- Degiorgi, F, et al. 2001.** Echantillonnage de l'ichtyofaune lacustre: engin passifs et protocole de prospection. [auteur du livre] D Gerdeau. Gestion piscicole des grands plans d'eau. Paris : INRA, 2001, pp. 151-182.
- Degiorgi, François et Raymond, Jean-Claude. 2000.** Guide technique. Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante. Agence de l'eau, Conseil supérieur de la pêche Direction régionale de Lyon : s.n., 2000.
- Du Plessis G., Combe, J. 1868.** Faune des vertébrés du district d'Orbe. Part 2, Poissons. . Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles . 1868, pp. 10(1868-1870).
- Fatio, V. 1890.** Faune des vertébrés de la Suisse. . Genève : s.n., 1890. Poissons, t. IV et V.
- Forel, F-A. 1894 , Réimpression de 1998.** Le Léman, Monographie limnologique. Tome II. Genève : Slatkine, 1894 , Réimpression de 1998.
- . 1897.** Quelques études sur les Lacs de Joux. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. 1897, p. 33(1897).
- Golay, R. 1942.** Installation de pompage entre le lac de Joux et le lac Brenet, établie temporairement par la Compagnie vaudoise des forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe en 1942. Bulletin technique de la Suisse romande. 1942, p. 68(1942).

- Gugelhard, D. 1840.** Statistik-historisch-topographische Darstellung des Bezirks Murten. Bern : Druck und Berlag des Haller'schen Buchdruckerei, 296p., 1840.
- Guillard, Jean et Marchal, E. 2001.** L'hydroacoustique, méthode d'étude de la distribution spatiale et de l'abondance des peuplements pisciaires lacustres. [auteur du livre] D. Gerdeaux. La gestion piscicole des grands plans d'eau. Paris : INRA, 2001, pp. 215-239.
- Kopp, C. 1873.** Variation du niveau des eaux des lacs jurassiques de Neuchâtel, de Bienne, de Morat et de Joux pendant l'année de 1868 à 1873. Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel. 1873, pp. 9(1870-1873).
- Pedroli, JC, Zaugg, B et A., Kirchhofer. 1991.** Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse. Neuchatel : Centre suisse de cartographie de la faune, 207 p., 1991.
- Périat, G. 2012.** Etude du peuplement pisciaire du lac de Morat. Kastanienbaum : Eawag, rapport interne, 2012.
- . **2013.** Etude du peuplement pisciaire du lac de Neuchâtel. Kastanienbaum : Eawag, Rapport interne, 2013.
- prEN14757, AFNOR. 2005.** Water quality- Sampling of fish with multi-mesh gillnets. s.l., Europe : European comittee for standardization, 2005.
- Thibault, M. 1991.** La gestion des populations naturelles de truite commune en France analysée dans une perspective historique (1669-1986). Paris : INRA, La truite biologie et écologie, 1991.
- Vauthier, B. 1996.** La pêche au Lac de Neuchâtel. Du Moyen Ageà nos jours. s.l. : Cabédita, 290p, 1996.

7 Annexes :

7.1 Illustration cartographique des habitats

7.1.1 Schéma directif de division et codification de l'espace lacustre (Degiorgi & Grandmottet, 1993)



7.2 Liste des figures

Figure 2.1 : Illustration de l'échantillonnage piscicole en période de stratification estivale extrême (dessin : M. Goguilly).....	4
Figure 2.2 : Positionnement géographique des actions de pêche réalisées en simultané entre le 5 et le 9 septembre 2011 sur les lacs de Joux et Brenet.....	5
Figure 3.1 : Evolution des teneurs en phosphore total dans les lacs de Brenet et Joux. Moyenne annuelle des teneurs mesurées (Données DGE - PRE)..	6
Figure 3.2 : Evolution de l'oxygénation de la colonne d'eau en zone profonde (31.5m) en fin de période estivale. (Données DGE-PRE, 2012).....	7
Figure 3.3 : Variété des habitats structurés du littoral du lac de Joux.	8
Figure 3.4 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac de Joux:.....	8
Figure 3.5 : Degré d'artificialisation des rives du lac de Joux.	9
Figure 3.6 : Variété des habitats structurés du littoral du lac Brenet.	10
Figure 3.7 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac Brenet.....	10
Figure 3.8 : Degré d'artificialisation des rives du lac Brenet.	11
Figure 3.9 : Cotes minimales et maximales comparées entre les données historiques publiées par Forel (1897) et celles disponibles à Office fédéral de l'environnement (www.hydrodaten.admin.ch).	12
Figure 3.10 : Différences de niveau d'eau du lac de Joux entre 2009 et 2011 (données OFEV).....	13
Figure 3.11 : Illustration comparative des rotengles du nord et du sud pêchés dans le lac Brenet en 2011.....	16
Figure 3.12 : Lac de Joux: Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti) comparée à l'oxygénation de la colonne d'eau en septembre 2011 (données DGE-PRE).....	19
Figure 3.13 : Lac Brenet: Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti) comparée à l'oxygénation de la colonne d'eau en septembre 2011 (données DGE-PRE).....	19
Figure 3.14 : Transect d'échointégration nocturne réalisé à la perpendiculaire du village du Lieu, le 6 septembre 2011. (donnée INRA, Colon & Guillard).	20
Figure 3.15 : Séquences d'échointégration de la couche supérieure (2.5 - 10 m) [$Sa(m^2 \cdot ha^{-2})$]. Parcours de nuit du 5 au 6 septembre 2011 (16 transects, Données INRA Colon & Guillard).....	21
Figure 3.16 : Séquences d'échointégration de la couche inférieure (10m - fond) [$Sa(m^2 \cdot ha^{-2})$]. Parcours de nuit du 5 au 6 septembre 2011 (16 transects, Données INRA Colon & Guillard).....	21
Figure 3.17 : Répartition géographique des captures totales et pour les différentes espèces aux filets (Verti/CEN) sur les deux lacs.	22
Figure 3.18 : Répartition des captures par type d'habitats littoraux sur le lac de Joux . (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)	23
Figure 3.19 : Diversité capturées par type d'habitats littoraux sur le lac de Joux. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)	24

Figure 3.20 : Répartition des captures par type d'habitats littoraux sur le lac Brenet. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique).....	24
Figure 3.21 : Diversité capturée par type d'habitats littoraux sur le lac Brenet. (Méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)	25
Figure 3.22 : Structure des populations comparées de quelques espèces les plus communes.	26
Figure 3.23 : Rendement de pêche comparé, toute espèce confondue, par application du protocole CEN de la Directive cadre européenne sur l'eau (prEN14757, 2005).	27
Figure 3.24 : Statistique halieutique des Lacs de Joux et Brenet en 2011, pêche de loisir et professionnelle cumulée. (données DGE-BIODIV)	28
Figure 3.25 : Statistiques halieutiques comparées des lacs entièrement sur territoire suisse en 2008. Cumul captures de perche, sandre, brochet, silure, truite, corégone (données DGE-BIODIV & OFEV).	28
Figure 3.26 : Evolution des statistiques halieutiques (pêche de loisir et professionnelle cumulée) des lacs de Joux et Brenet cumulés (données DGE-BIODIV).....	29
Figure 3.27 : Evolution de la récolte des salmonidés, de la perche et de la lotte dans les lacs de Joux et Brenet cumulés (données DGE-BIODIV).	29
Figure 3.28 : Lac de Joux - Estimation des proportions relatives de chaque espèce en 2011, déterminée à partir des trois protocoles d'inventaire réalisés, comparée à la récolte halieutique déclarée en 2011 (pêche de loisir et professionnelle cumulées, données DGE-BIODIV).	30
Figure 3.29 : Lac Brenet - Estimation des proportions relatives de chaque espèce en 2011, déterminée à partir des trois protocoles d'inventaire réalisés, comparée à la récolte halieutique déclarée en 2011 (pêche de loisir et professionnelle cumulées, données DGE-BIODIV).	31
Figure 3.30 : Taille des individus capturés en fonction des mailles de filets verticaux et CEN posés en 2011, lacs de Joux et Brenet cumulés.	32
Figure 3.31 : Lac de Joux : estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2011 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.	33
Figure 3.32 : Lac Brenet - estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2011 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.	33
Figure 3.33 : Lac Saint-Point - estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le corégone en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.	33
Figure 3.34 : Estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour la perche pour les lacs de Joux et de Brenet en 2011 et de Saint-Point en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux...	34
Figure 3.35 : Estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour le gardon pour les lacs de Joux et de Brenet en 2011 et de Saint-Point en 2012 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux...	35

Figure 5.1 : Gradient de taille de captures pour chaque maille de filet calculé pour la perche sur tous les lacs échantillonnés par le Projet Lac. (N total= 9851 individus)40

7.3 Liste des tableaux

Tableau 3.1: Individus capturés par les trois protocoles appliqués durant la semaine du 5 au 9 septembre 2011 sur les lacs de Joux et Brenet. 15

Tableau 3.2 : Liste des espèces collectionnées par le Musée d’histoire naturelle de Berne..... 16

Tableau 3.3 : Diversité piscicole décrite sur les Lacs de Joux et Brenet (Forel, 1894 , Réimpression de 1998)(BAFU, 2003)(Pedroli, et al., 1991) 17