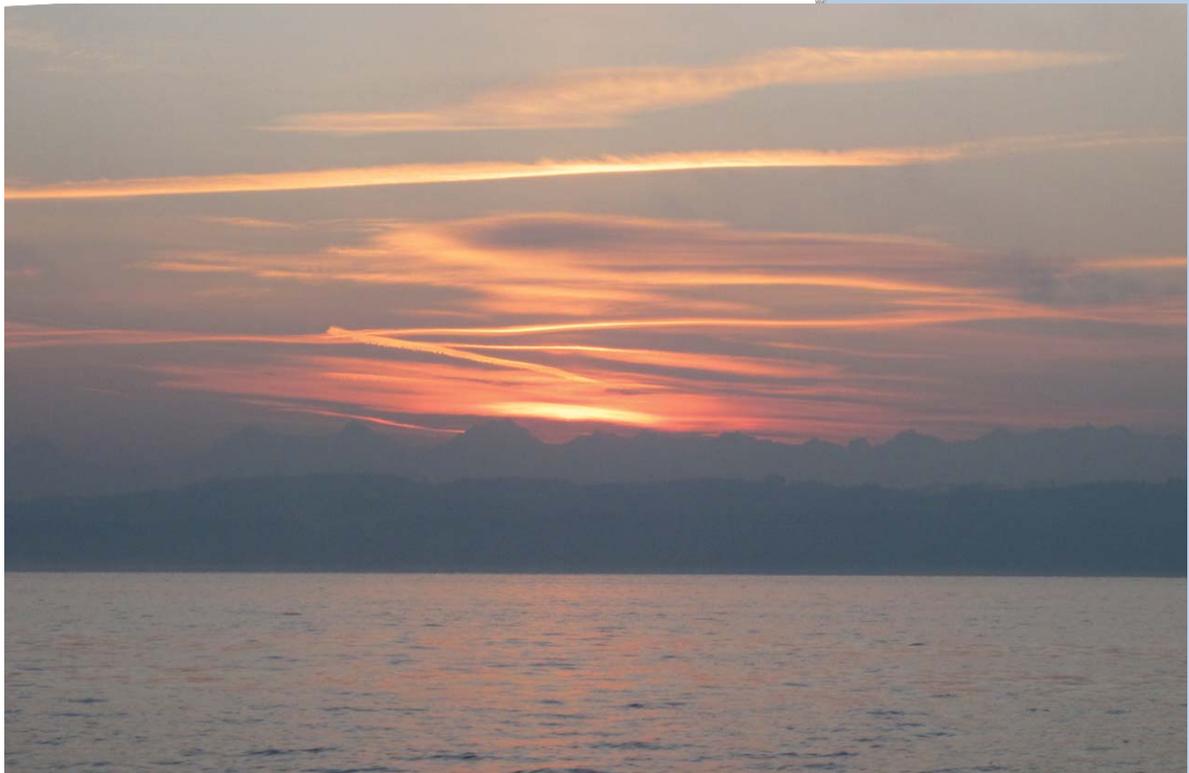


Etude du peuplement pisciaire du Lac de Neuchâtel



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, Patrick Porchet, Philippe Savary, Jean-Marc Weber, Isabelle Tripet, Valère Bilat, Jean-Daniel Wicky, Gérald Bossy, Michel Colon, Michaël Goguilly, Hervé Décourcière, Jonathan Paris, Pierre-Alain Chevalley, Grégory Tourreau, Marcel Hässler, Erwin Schäffer, Quentin Jobin, Gabriel Vanderveer ainsi que les étudiants des facultés de Besançon, Berne et Kastanienbaum.

En outre, nous sommes reconnaissants à l'Office fédéral de l'environnement et aux Services de la pêche vaudois, neuchâtelois et fribourgeois pour 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 ainsi que par différents instituts et gestionnaires partenaires.

L'inventaire du lac de Neuchâtel réalisé en octobre 2011, soutenu par les cantons de Neuchâtel, de Vaud et de Fribourg, constitue le sixième échantillonnage sur le territoire helvétique. Les principaux enseignements mis en évidence se résument comme suit :

En 150 ans, le lac de Neuchâtel a :

- perdu, *a priori*, 4 espèces (saumon atlantique, lamproie fluviatile, jaunet, able de stymphale)
- vu une réduction des populations de 7 espèces liées aux cours d'eau (barbeau fluviatile, blageon, hotu, spirilin, ombre, lamproie de planer, anguille)
- récupéré, selon Pedroli (1983), la souche lémanique de l'omble chevalier qui actuellement s'est raréfiée.
- subi l'intrusion par 10 espèces allochtones dont deux peuvent se rencontrer fréquemment (rotengle du sud et loche de rivière du sud).

Au final, sur 32 espèces originelles, 24 ont pu être répertoriées en 2011 par l'échantillonnage du Projet Lac ou déclarées par la pêche, soit 75 %. Parmi ces dernières, la bouvière, la carpe et la truite de lac ont le statut d'espèce menacée selon l'Ordonnance fédérale en la matière (OFSP 923.01).

Par ailleurs, la répartition des poissons dans le plan d'eau présente une dichotomie claire. En automne, en aval, les cyprinidés ont tendance à supplanter les corégones qui dominent l'amont.

Enfin, sur le bas lac, les perches capturées semblent clairement plus parasitées que sur le haut lac. En sachant que, en milieu aquatique, le degré de parasitisme est proportionnel à la présence de polluants ou de stress environnemental, plus on s'approche de l'exutoire, plus l'ichtyofaune du lac de Neuchâtel apparaît souffrir d'une dégradation de qualité d'eau et/ou des habitats.

En définitive, la situation écologique du plan d'eau n'est vraisemblablement pas optimale. De plus, sa productivité halieutique reste moyenne comparativement aux lacs calcaires voisins. Les causes les plus probables de perturbation sont à mettre à l'actif :

- d'une transformation de la morphologie du littoral provoquée par l'abaissement du niveau d'eau (3.2m) ainsi que par la modification du régime hydrologique et par l'artificialisation des rives. Le lac de Neuchâtel végétal et influencé par l'homme d'aujourd'hui n'a plus grande chose à voir avec le lac de Neuchâtel minéral et sauvage d'hier.
- d'une dégradation de la qualité des eaux: si les efforts en matière d'épuration ont réussi à réduire la pollution au phosphore, force est de constater que la situation du plan d'eau en termes de qualité d'eau n'est pas encore optimale. L'oxygénation des couches profondes ne cessent de diminuer et les nitrates d'augmenter.

Eu égard à l'intérêt patrimonial du lac de Neuchâtel, les travaux d'amélioration de la qualité de l'eau méritent d'être intensifiés et un programme de restauration morphologique de la zone littorale et des affluents serait à initier. Un lien avec les projets nationaux de revitalisation des eaux courantes en cours de développement devrait, en ce sens, être recherché. Cette politique nécessiterait également d'inclure une remise en question de l'artificialisation totale actuelle du régime hydrologique. Il est, par ailleurs, important de préciser que les résultats du « Projet lac » pourront, à l'avenir, servir à estimer l'efficacité des mesures réalisées. Enfin, les 693 poissons, conservés durablement par le Musée d'histoire naturelle de Berne, pourront faire office de matériel biologique de référence pour des analyses génétiques, morphométriques et/ou écotoxicologiques.

Mots clefs

Lac - morphologie - restauration - poisson - parasite - 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	3
2.4	Récolte halieutique	6
3	Résultats :	7
3.1	Physico-chimie	7
3.2	Habitats	9
3.3	Peuplement pisciaire.....	13
3.4	Comparatif à d'autres lacs	28
3.5	Gestion halieutique.....	30
4	Synthèse et Conclusion.....	37
4.1	Diagnose écologique	37
4.2	Exploitation halieutique	39
4.3	Conclusion	39
5	Perspectives :	40
5.1	Recommandations environnementales.....	40
5.2	Recommandations halieutiques	40
6	Bibliographie	42
7	Annexes :	45
7.1	Illustration cartographie des habitats	45
7.2	Liste des figures.....	46
7.3	Liste des tableaux	48

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). En Suisse, 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) (OFSP 923.01 art 10, alinéa 1).

Malheureusement la taille des écosystèmes lacustres alpins et péri-alpins 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. L'ichtyofaune, en particulier, constitue un support d'études pour lequel 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. Celle-ci s'étale en moyenne de 2 à 4 ans, mais peut atteindre plusieurs dizaines d'années.
- un spectre alimentaire recouvrant tous les régimes, depuis les végétariens stricts jusqu'aux carnivores 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 et 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 de déterminer la qualité physico-chimique et morphologique de son milieu de vie, autrement dit, d'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 (63 par LFSP 923.0) impose la mise en œuvre de procédés d'échantillonnage standardisés fournissant des images quantitatives comparables. En outre, la structure des populations de l'ensemble des espèces est à déterminer et à exprimer à l'échelle du peuplement. Enfin, la grande mobilité de l'ichtyofaune nécessite une prospection, en simultané, 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 périalpins. 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 périalpins, à l'aide de méthodologies communes, reproductibles et compatibles avec les indicateurs ainsi que 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.

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), de l'Office fédéral suisse de l'environnement ainsi que de plusieurs cantons (Vaud, Genève, Valais, Neuchâtel, Fribourg, Tessin, Berne, Grison, Aarau, Zug) de gestionnaires italiens (Regione Lombardia) et français (ONEMA, Fédérations de pêche du Jura et du Doubs).

Objectifs spécifiques

Le présent rapport s'attachera à relater les enseignements mis en évidence par l'échantillonnage du lac de Neuchâtel réalisé entre le 2 et le 14 octobre 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.

Pour le lac de Neuchâtel, la surveillance de l'état qualitatif du lac fait l'objet de travaux menés de concert par le Groupe de travail BENEFR, représenté par les services compétents en matière de protection des eaux des cantons de Berne, Fribourg et Neuchâtel. Les données disponibles ont été mises à disposition par Isabelle Butty.

2.2 Cartographie des habitats

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

- La zone littorale ou beine, délimitée par la rupture de pente, allant jusqu'à -3 à -5m 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.

Par ailleurs, 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 ont été 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'est occupé de l'estimation des biomasses en place par hydroacoustique. Son intervention s'est faite au cours de deux campagnes de mesures : une nocturne et une diurne selon la méthode développée par l'INRA (Guillard, et al., 2001)
- b) Un deuxième équipage a réalisé l'échantillonnage à l'aide de filets maillants par application simultanée 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, et al., 2001)
- c) L'inventaire des zones peu profondes (<1m) a été effectué par un troisième équipage à l'aide de pêches électriques par ambiance au cours d'un seul passage mené à pied ou depuis un bateau. Chaque type de pôle d'attraction présent en bordure a été prospecté et la surface pêchée est estimée en m².
- d) Parallèlement et spécifiquement pour le lac de Neuchâtel, des filets spéciaux de 150 m de long et 6 m de haut, possédant une gamme de mailles allant de 10 à 70mm, ont été posés d'une manière ciblée à grande profondeur sur les zones potentielles de reproduction des ombles (*salvelinus sp.*). L'objectif de cet inventaire complémentaire était de déterminer la présence de jaunet (*s. neocomensis*).
- e) L'ensemble des poissons capturés a été mesuré, pesé, photographié et conditionné pour une conservation durable au Musée d'Histoire Naturelle de Berne.

Une technique d'échantillonnage exemplaire

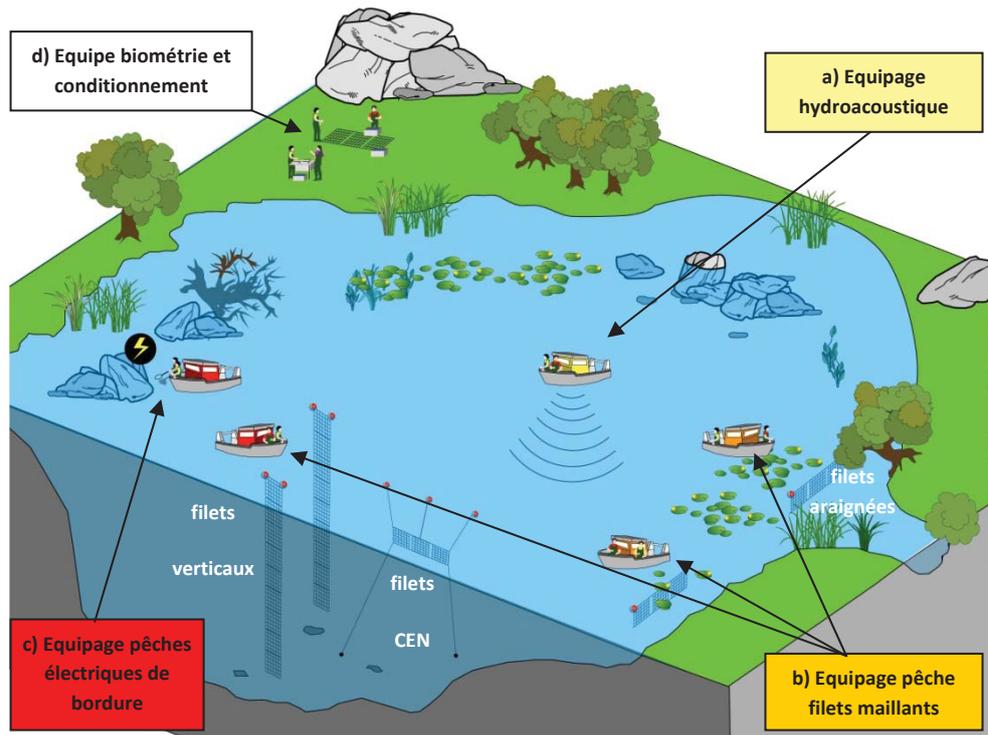


Figure 2.1 : Illustration de l'échantillonnage piscicole en période de stratification estivale extrême (dessin : M. Gogully)

Plus de 300 actions de pêche réalisées

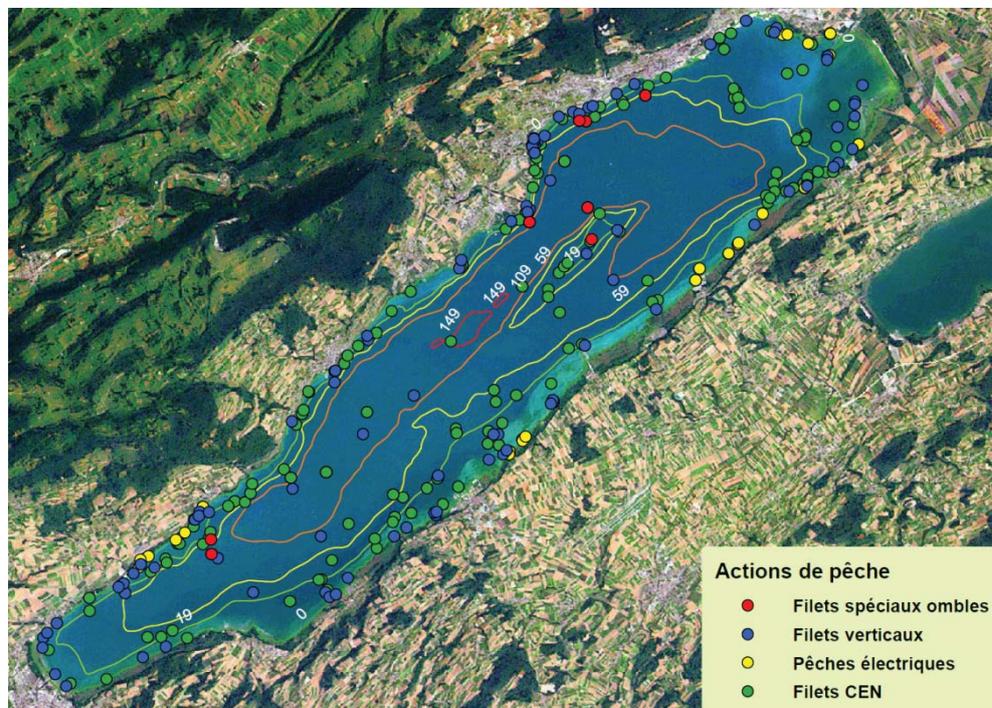


Figure 2.2 : Positionnement géographique des 327 actions de pêche réalisées en simultané entre le 2 et le 14 octobre 2011 sur le lac de Neuchâtel.

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 ont été rassemblées et synthétisées.

Pour le lac de Neuchâtel, les statistiques disponibles au Service de la faune ont été mises à disposition par Jean-Marc Weber.

3 Résultats :

3.1 Physico-chimie

3.1.1 Situation actuelle

La surveillance des eaux du lac de Neuchâtel existe depuis 1982. Les paramètres suivants sont mesurés : l'oxygène à 1m au-dessus du plus grand fond, le nitrate, le phosphate et le phosphore total intégré à l'ensemble du volume du lac.

Depuis la mise en place de ce suivi, le degré de pollution organique a évolué vers une amélioration. La situation actuelle du phosphore peut être considérée comme très bonne (Figure 3.1). (SESA, 2011)

*Une situation
actuelle très
bonne*

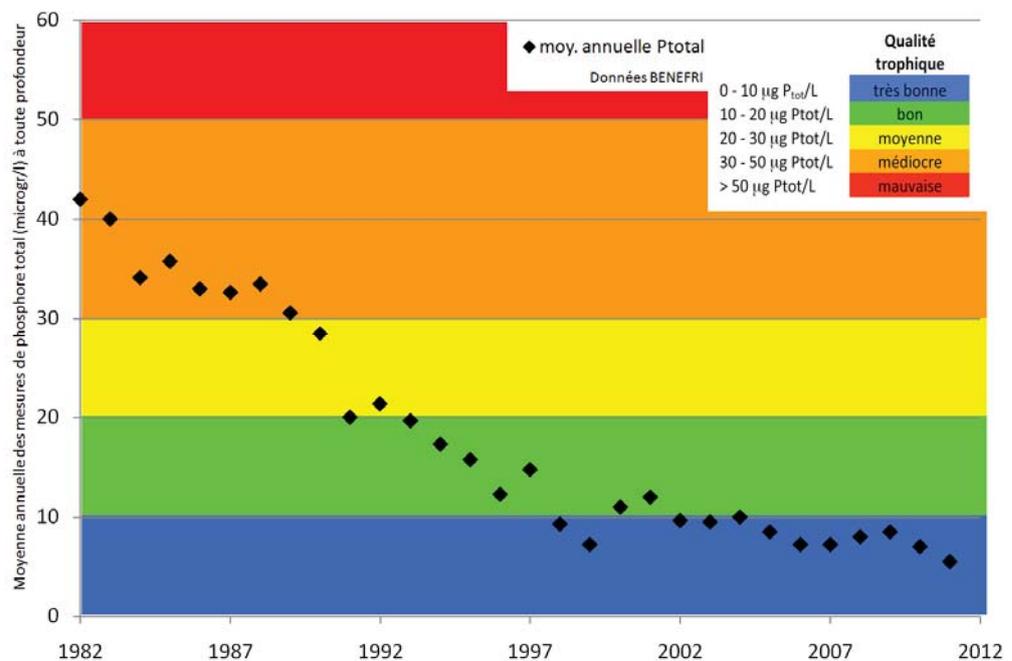


Figure 3.1 : Evolution des teneurs en phosphore total dans le lac de Neuchâtel selon classification trophique de l'OCDE. (Données BENEFRRI)

3.1.2 Evolution historique

Sur le lac de Neuchâtel, les données disponibles indiquent que depuis 1982 les fonds ont toujours été oxygénés à plus de 6 mg/l. En revanche, la tendance générale est à la dégradation (Figure 3.2).

*Une perte
désoxygénation
progressive des
fonds*

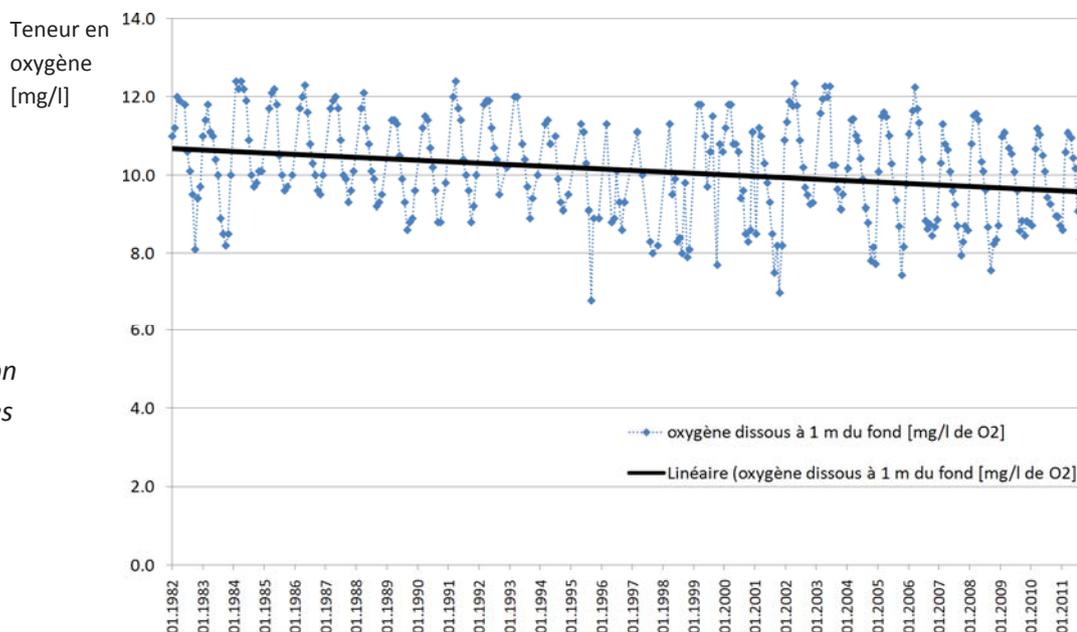


Figure 3.2 : Evolution de l'oxygénation des fonds du lac de Neuchâtel. (Données BENEFR, 2012)

Comme l'illustre l'évolution de la concentration des nitrates (Figure 3.3), la dégradation de la situation du plan d'eau pourrait s'expliquer par l'accroissement des teneurs d'autres substances polluantes.

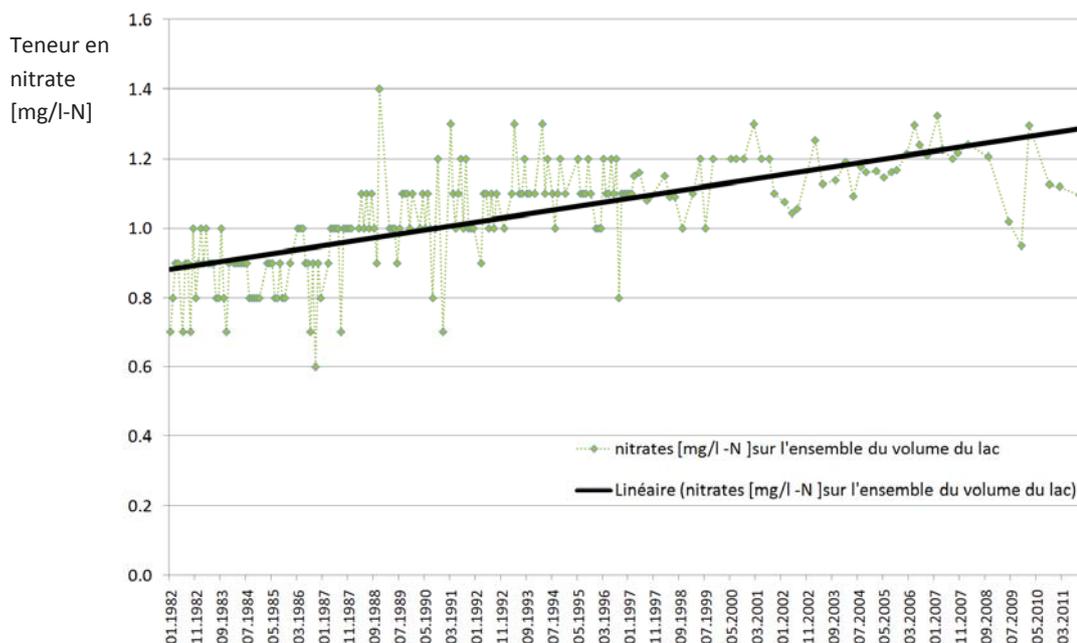


Figure 3.3 : Evolution de la teneur en nitrates du lac de Neuchâtel. (Données BENEFR, 2012)

3.2 Habitats

3.2.1 Situation actuelle

La cartographie du littoral (Figure 3.4 & Figure 3.5) 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 entre 2 et 3 %. Par ailleurs, 15% de ces habitats structurés sont artificiels.

Entre 2 et 3 % de surface d'habitats structurés

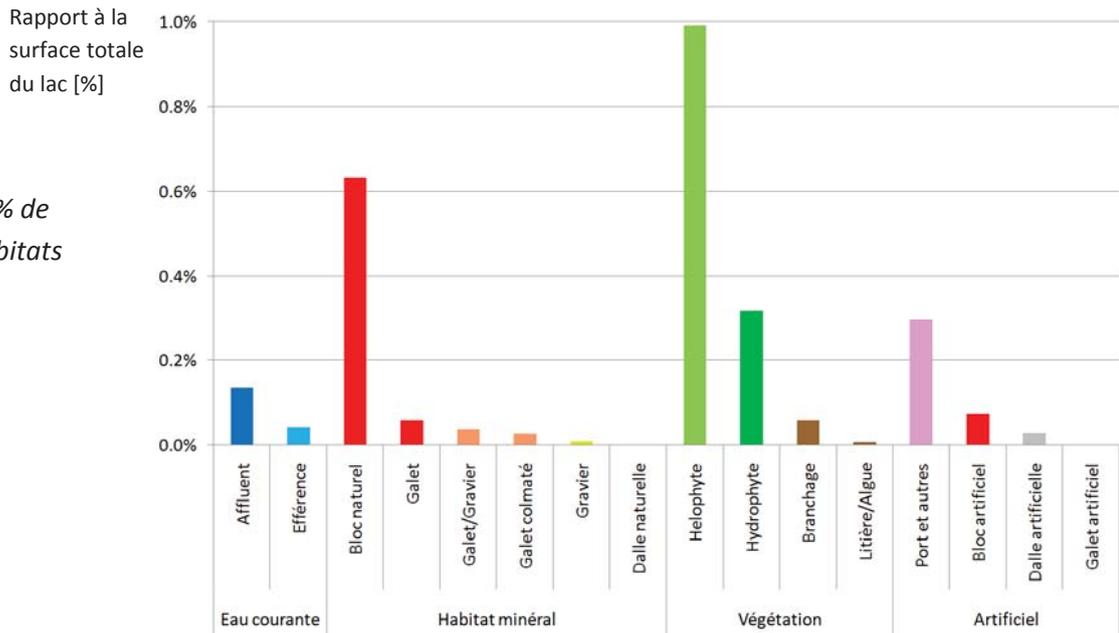


Figure 3.4 : Variété des habitats structurés du littoral du lac de Neuchâtel.

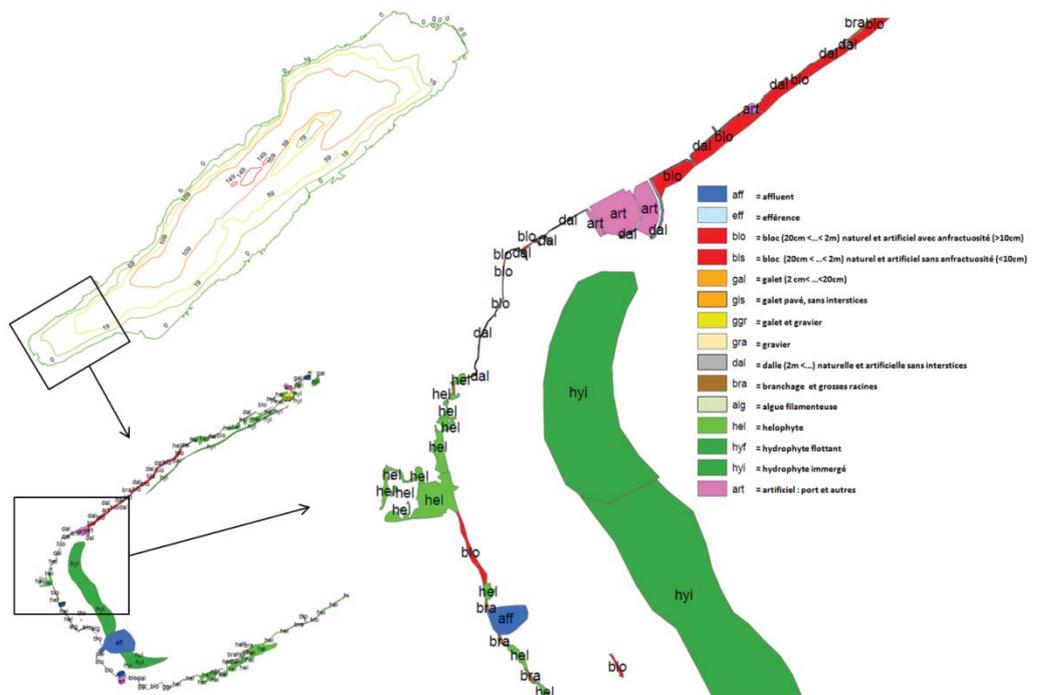


Figure 3.5 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac de Neuchâtel

En linéaire de rive, cette artificialisation représente 40 % (Figure 3.6) alors qu'elle n'atteignait que 22.5 % en 1974 (Sollberger, 1974).

Plus du tiers des rives artificialisé

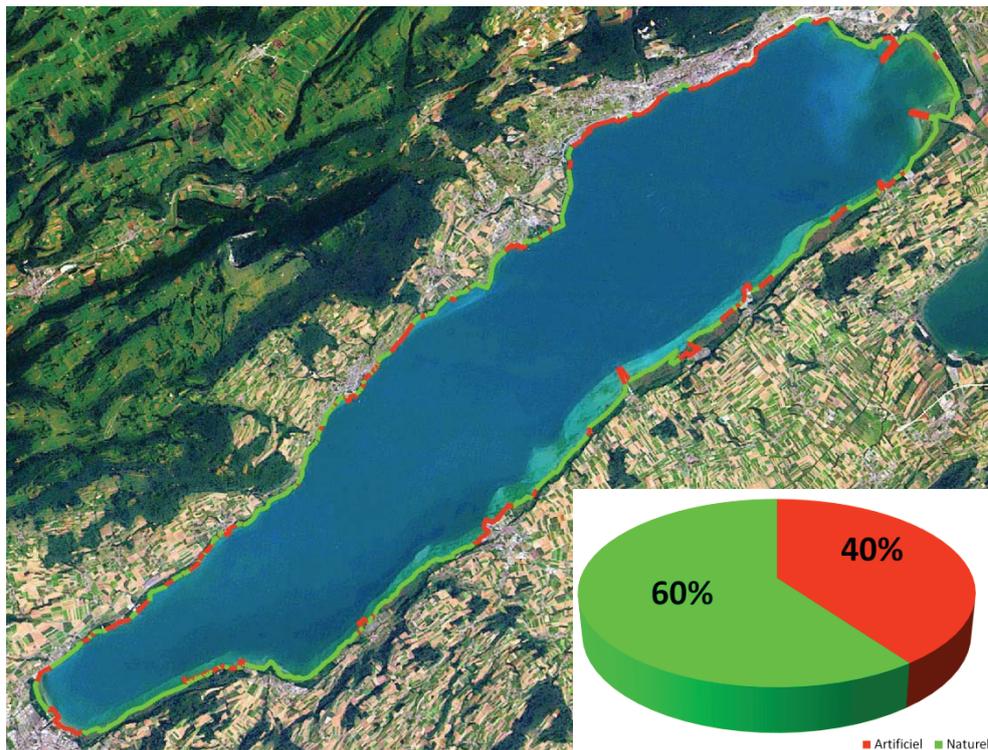


Figure 3.6 : Degré d'artificialisation des rives du lac de Neuchâtel.

3.2.2 Evolution historique

Originellement, les trois lacs (Neuchâtel, Morat et Bienn e) n'en formaient plus qu'un seul en période de hautes eaux. Les inondations récurrentes des terres riveraines ont déclenché, dès le 18^{ème} siècle, la mise en œuvre de travaux de curages des effluents. Une fois leur débitance améliorée le niveau des trois lacs a donc été quelque peu abaissé. Toutefois, ces interventions restaient limitées comparativement aux conséquences de la première correction des eaux du jura intervenue entre 1869 et 1888 (Müller, 1969). La baisse de 2,7 m sur le lac de Neuchâtel a été effective en 1877-1878 (Vauthier, 1996). De plus, l'arrivée de l'Aar directement dans le lac de Bienn e a modifié le régime des eaux. Jadis un lac pluvio-nival avec des pics maximaux d'élévation des eaux en avril/mai et minimaux en août/septembre (Figure 3.7), le lac devient pluvio-glaciaire avec des niveaux au plus haut en été et au plus bas en hiver (Figure 3.8). Dès cette époque, l'effluent, la Thielle, se met à couler dans deux sens différents, en fonction de la saison et des débits.

Des variations historiques atteignant 2 m

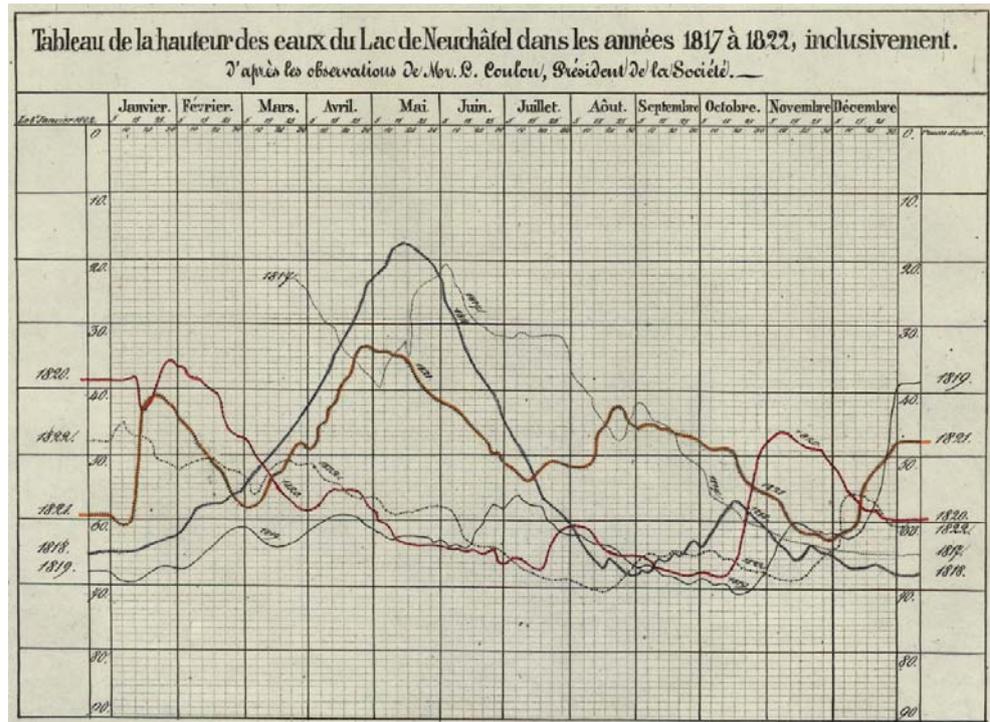


Figure 3.7 : Différence de niveau d'eau du lac de Neuchâtel entre 1817 à 1822 exprimé en pouce (1 pouce = 2.9 cm). Le niveau 0 est égal à la crue extrême de 1802 et le niveau -70 pouce, soit -2.03 m est égale au niveau d'étiage fréquents entre 1817 et 22. (De Montmolin, 1835)

Des variations actuelles limitées à 0.5 m

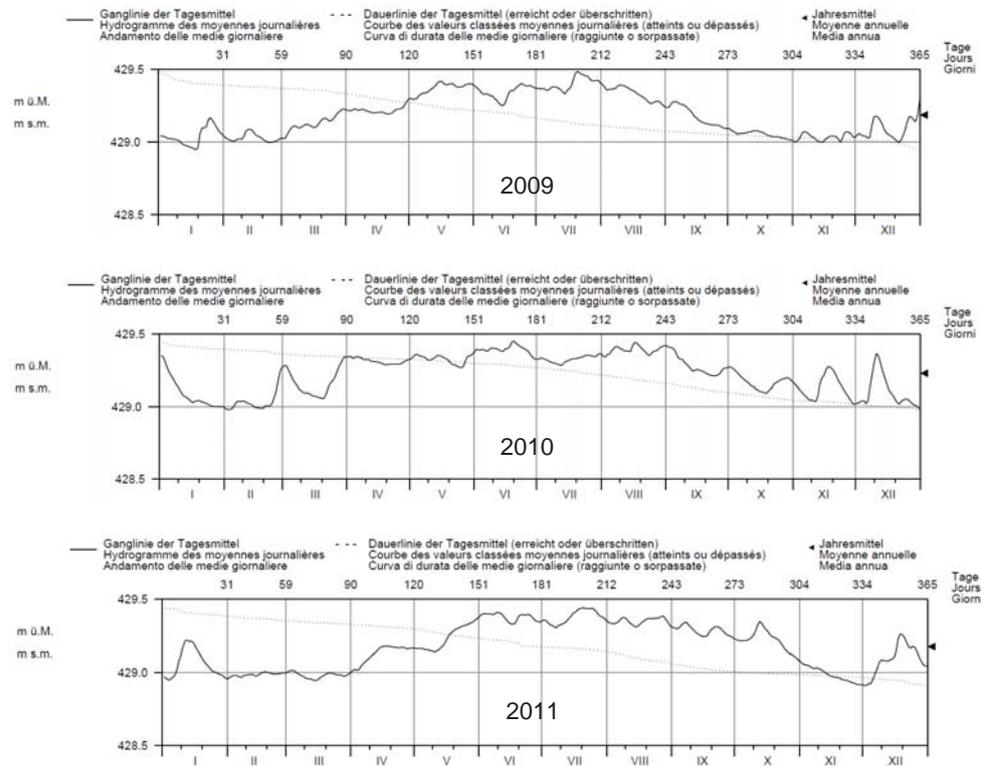


Figure 3.8 : Différences de niveau d'eau du lac de Neuchâtel entre 2009 et 2011. (données OFEG)

En revanche, la cote maximale des inondations n'a pas changé. Les terres avoisinantes du lac sont toujours envahies par les eaux. C'est par ailleurs ce qui a provoqué la mise en œuvre de la seconde correction des eaux du Jura qui est intervenue entre 1962 et 1973 (Vauthier, 1996). Cette dernière paracheva la modification des caractéristiques du lac en limitant les amplitudes de variations de niveaux d'eau. En effet, ces dernières ne dépassent actuellement pas plus de 50 cm par an (Figure 3.8) alors qu'elles pouvaient atteindre près de 2 m au début du 19^{ème} siècle (Figure 3.7)

Les conséquences en termes d'habitats lacustres sont multiples :

- Le lac a perdu 13 à 14% de son volume, soit 2 km³, et 8 à 10% de sa surface (Vauthier, 1996)(Jeanneret, 1967)
- L'accès aux affluents est devenu plus difficile pour les truites et les saumons lors de leur remontée pour la reproduction (octobre / novembre).
- Les grèves minérales (sable, gravier, galet) ont été progressivement envahies par des roselières, ce qui gêne énormément la pêche traditionnelle aux grands filets (seine).(Ritter, 1902)(Vauthier, 1996)

En définitive, le littoral du lac de Neuchâtel a été totalement modifié. De minéral subissant de grandes variations de niveaux d'eau, il est devenu essentiellement végétal avec un niveau d'eau stable, en particulier sur la rive sud (Grande Cariçaie). En outre, plus du tiers des rives a été artificialisé.

Ainsi, à l'image du lac de Morat (Périer, 2012), la nature, la surface ainsi que la mosaïque des habitats structurés sur le pourtour du lac ont été drastiquement transformées. Le lac de Neuchâtel végétal et influencé par l'homme d'aujourd'hui n'a plus grand-chose à voir avec le lac de Neuchâtel minéral et sauvage d'hier.

3.3 Peuplement pisciaire

3.3.1 Situation actuelle

Les trois protocoles de captures ont permis de recenser un total de 26 espèces de poissons ainsi qu'une espèce d'écrevisse (Tableau 3.1).

Code	Espèce		Filets		Pêche
			CEN	Verticaux	électrique
PER	Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	4991	922	76
GAR	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	1943	333	27
GOU	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	132	17	12
ABL	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	84	10	3
COR	Palée	<i>Coregonus palea</i>	68	234	
COR	Bondelle	<i>Coregonus candidus</i>			
ROT	Rotengle (nord)	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	49	75	14
ROT	Rotengle (sud)	<i>Scardinius hesperidicus</i>			
BRO	Brochet	<i>Esox lucius</i>	32	5	3
VAN	Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	24	31	1
LOT	Lotte	<i>Lota lota</i>	19	8	16
LOF	Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	14		65
LOR	Loche de rivière (sud)	<i>Cobitis bilineata</i>	10	1	1
CHE	Chevesne (nord)	<i>Squalius cephalus</i>	7	34	1
CHE	Chevesne (sud)	<i>Squalius squalius</i>			
TAN	Tanche	<i>Tinca tinca</i>	3	4	38
BRB	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	5	2	
BRE	Brème commune	<i>Abramis brama</i>	3	1	
SAN	Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	2	1	
TRL	Truite de lac	<i>Salmo trutta</i>	2		11
PES	Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	1		
SIL	Silure	<i>Silurus glanis</i>	1		
CHA	Chabot	<i>Cottus gobio</i>		3	7
CCO	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>		1	3
VAI	Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>			30
BOU	Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>			7
Effectif total poisson			7390	1682	315
Nombre d'espèces			22	20	19
Nombre d'espèces cumulées				24	26
OCL	Ecrevisse américaine	<i>Orconectes limosus</i>	18	4	

Tableau 3.1: Individus capturés par les trois protocoles appliqués durant la semaine du 2 au 14 octobre 2011 sur le lac de Neuchâtel. A noter que devant l'impossibilité de distinguer les différentes espèces sans analyse génétique, les genres *Coregonus*, *Scardinius* et *Squalius* ont été respectivement et provisoirement regroupés.

Au regard du nombre d'espèces pêchées mais également selon la composition des populations, les trois protocoles appliqués paraissent complémentaires.

Les pêches électriques, en particulier, révèlent l'importance des zones littorales (<1m) pour les petites espèces, loches, vairon, bouvière, chabot ainsi que pour les juvéniles de lotte, truite, tanche et carpe.

Les corégones capturés n'ont pas été différenciés entre bondelle et palée. Des analyses morphométriques et génétiques sont en cours pour déterminer la diversité de ce groupe. Cependant, la présence des deux taxons a été considérée malgré la difficulté actuelle de les séparer (Volanthen, et al., 2009).

Plusieurs espèces originaires du sud des Alpes ont été capturées. Comme pour le lac de Morat (Périat, 2012), la loche de rivière du sud (*C. bilineata*) et le rotengle du sud (*S. hesperidicus*) ont été recensés (Figure 3.9). En outre, *a minima*, un exemplaire du chevesne du sud (*S. squalius*) a été découvert (Figure 3.9). Ici également, des analyses sont en cours pour différencier la proportion de chaque taxon ainsi que pour cerner leur origine génétique.

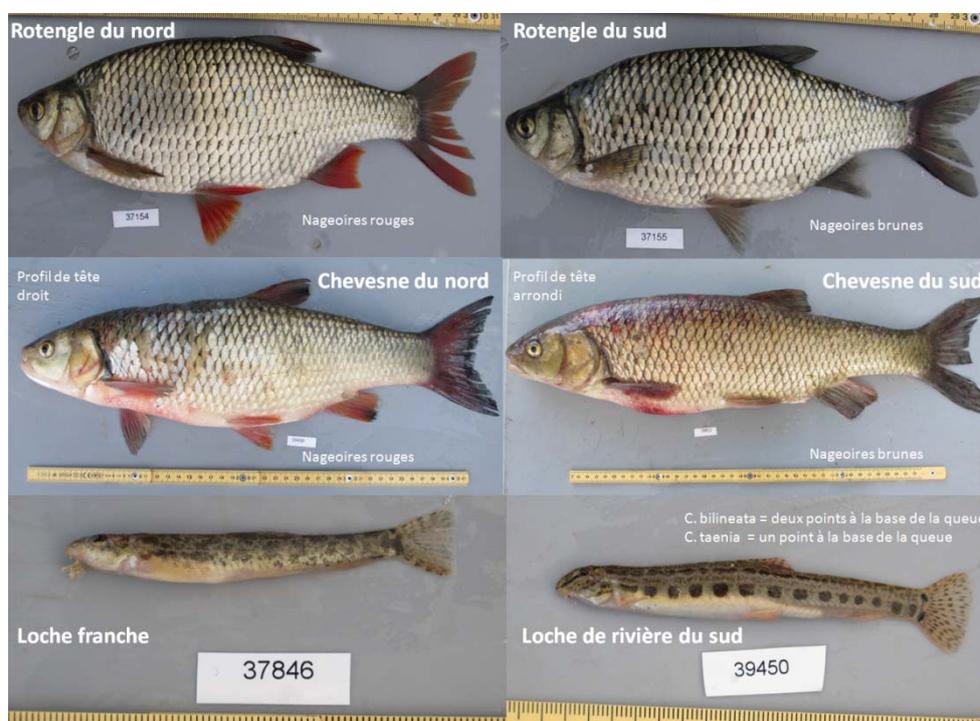


Figure 3.9 : Illustration comparative des rotengles nord et sud (en haut), chevesnes nord et sud (milieu) ainsi que des loches franches (en bas à gauche) et loches de rivière du sud (en bas à droite) capturés dans le lac de Neuchâtel en 2011.

Un total de 26
espèces capturées

Au final, au stade d'avancement actuel des analyses, un total de 26 espèces a donc été capturé sur le lac de Neuchâtel en octobre 2011 (Tableau 3.1).

Une collection de 693 poissons représentant 23 espèces cumulées a été constituée au Musée d'histoire naturelle de Berne (Tableau 3.2).

Espèce		Individus
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	2
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	11
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	21
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	1
Loche de rivière (sud)	<i>Cobitis bilineata</i>	7
Palée + Bondelle	<i>Coregonus sp</i>	110
Chabot	<i>Cottus gobio</i>	3
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	1
Brochet	<i>Esox lucius</i>	20
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	31
Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	1
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	5
Lotte	<i>Iota Iota</i>	6
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	39
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	17
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	379
Truite de lac	<i>Salmo trutta</i>	1
Rotengle (nord+sud)	<i>Scardinius sp</i>	14
Chevesne (nord+sud)	<i>Squalius sp</i>	19
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	5
Total en collection	23 espèces	693

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

En outre, grâce au caractère standardisé du protocole CEN appliqué, il est possible de déterminer la précision des pêches réalisées en calculant les intervalles de confiance 5 et 95%.

Espèce		min	moy	max	5%	95%	Observé
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	2989	4955	7242	3806	6187	4991
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	1083	1913	3580	1394	2590	1943
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	39	134	278	76	202	132
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	30	84	152	56	112	84
Palée + Bondelle	<i>Coregonus sp</i>	34	68	129	44	98	68
Rotengle (nord+sud)	<i>Scardinius sp</i>	11	49	105	27	76	49
Brochet	<i>Esox lucius</i>	11	31	59	20	44	32
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>	2	24	84	5	54	24
Lotte	<i>Iota Iota</i>	7	19	36	12	26	19
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	1	13	34	5	23	14
Loche de rivière (sud)	<i>Cobitis bilineata</i>	2	10	21	5	15	10
Chevesne (nord+sud)	<i>Squalius sp</i>	0	7	26	2	14	7
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	0	5	23	0	13	5
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	0	3	9	1	6	3
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	0	3	10	0	6	3
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	0	2	10	0	6	2
Truite de lac	<i>Salmo trutta</i>	0	2	7	0	4	2
Silure	<i>Silurus glanis</i>	0	1	5	0	3	1
Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	0	1	5	0	3	1
Ecrevisse américaine	<i>Orconectes limosus</i>	0	9	29	3	16	9

Figure 3.10 : Intervalle de confiance 5 et 95 % des captures par le protocole CEN.

3.3.2 Evolution historique

Alors qu'un échantillonnage standard du lac de Neuchâtel ayant pour dessein de déterminer la composition du peuplement ichtyologique n'a jamais été réalisé d'une manière aussi fouillée, force est de constater qu'un déficit en biodiversité peut être observé (Tableau 3.3)

Espèces		19 ^{ème} s.	1991	2003	2011	2011	Statut selon LFSP	Menace selon LFSP	Localisation pop. principale
		*	Pedroli et al	BAFU	ProjetLac	Stat Pêche			
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Stizostedion lucioperca</i>	Sandre		1	1	1	1	introduit		Lac
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil		1	1	1		introduit		Lac
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotengle (Nord)	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Scardinius hesperedicus</i>	Rotengle (Sud)				1		introduit		Lac
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe	1	1	1	1	1	Indigène	3	Lac
<i>Carassius auratus</i>	Poisson rouge		1	1			introduit		Lac
<i>Carassius carassius</i>	Carassin		1	1			introduit		Lac
<i>Carassius gibelio</i>	Carpe prussienne			1			introduit		Lac
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Blicca bjoerkna</i>	Brème bordelière	1	1	1	1	1	Indigène	4	Lac
<i>Alburnus alburnus</i>	Ablette	1	1	1	1		Indigène		Lac
<i>Rhodeus amarus</i>	Bouvière	1	1	1	1		Indigène	2	Lac
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	1	1	1	1		Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau	1	1	1			Indigène	4	Lac & Rivière
<i>Squalius cephalus</i>	Chevesne	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac & Rivière
<i>Squalius squalius</i>	Chevesne du sud				1		introduit		Lac & Rivière
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	1	1	1	1		Indigène	Non Menacé	Lac & Rivière
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	1	1				Indigène	3	Lac & Rivière
<i>Chondrostoma nasus</i>	Nase, Hotu	1	1	1		1	Indigène	1	Rivière
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	1					Indigène	3	Lac & Rivière
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	1	1	1	1		Indigène	Non Menacé	Lac & Rivière
<i>Leucaspis delineatus</i>	Able de stymphale		1	1			Indigène	4	Lac
** <i>Leuciscus prasinus</i> , Agassiz Vengeron							Indigène	?	Lac
** <i>Leuciscus majalis</i> , Agassiz : Poissonnet							Indigène	?	Lac
**espèce non reconnue actuellement, mais citée par de nombreux auteurs historiques									
<i>Salmo trutta</i>	Truite	1	1	1	1	1	Indigène	2	Lac & Rivière
<i>Salmo salar</i>	Saumon		disparu	disparu			Indigène	0	Rivière
<i>Salvelinus umbla</i>	Ombre chevalier	1	1	1		1	Indigène	3	Lac
<i>Salvelinus neocomensis</i>	Jaunet	1							
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel		1	1			introduit		Lac & Rivière
<i>Coregonus candidus</i>	Bondelle	1	1	1	1	1	Indigène	4	Lac
<i>Coregonus palea</i>	Palée bord	1	1	1	1	1	Indigène	4	Lac
** <i>Coregonus sp?</i>							Indigène	?	Lac
** <i>Coregonus sp?</i>							Indigène	?	Lac
**espèce non reconnue actuellement, mais citée par de nombreux auteurs historiques									
<i>Silurus glanis</i>	Silure	1	1	1	1	1	Indigène	4	Lac
<i>Esox lucius</i>	Brochet	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Lota lota</i>	Lotte	1	1	1	1	1	Indigène	Non Menacé	Lac
<i>Cobitis bilineata</i>	Loche de rivière (sud)				1		introduit		Lac
<i>Cobitis taenia</i>	Loche de rivière (nord)		1	1			Indigène	2	Lac
***espèce apparemment jamais présente, Vouga (1930), première citation, décrit <i>C. bilineata</i>									
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	1	1	1	1		Indigène	Non Menacé	Rivière
<i>Cottus gobio</i>	Chabot	1	1	1	1		Indigène	4	Rivière
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre	1	1	1			Indigène	3	Rivière
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Epinoche			1			introduit		Lac & Rivière
<i>Lampetra planeri</i>	Lamproie de planer	1	1	1			Indigène	2	Rivière
<i>Lampetra fluviatilis</i>	Lamproie fluviatile	1	disparu	disparu			Indigène	0	Rivière
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	1	1	1		1	Indigène	3	Lac & Rivière
TOTAL espèces indigènes		32	29	28	21	17			
TOTAL espèces introduites		0	5	7	5	1			
TOTAL espèces décrites		32	34	35	26	18			

* selon : Agassiz 1835, Duplessis & Combe 1868, Musy 1880, Mauvais 1930, Vouga 1930, Quartier 1955, Vauthier 1996

Tableau 3.3 : Diversité piscicole décrite sur le lac de Neuchâtel (Agassiz, 1835) (Du Plessis G., 1868) (Musy, 1880) (Mauvais, 1930) (Vouga 1930) (Quartier, 1955) (Vauthier, 1996) (Pedroli, et al., 1991) (BAFU, 2003)

Dans le détail, une compilation des publications relatives à la diversité historique des poissons du lac de Neuchâtel relève un total de 32 espèces indigènes (Agassiz, 1835) (Du Plessis G., 1868)(Musy, 1880)(Mauvais, 1930) (Vouga 1930) (Quartier, 1955)(Vauthier, 1996). Toutefois, il est à préciser que la distinction entre *Leuciscus majalis*, *Leuciscus prasinus*, la palée de bord et la palée grasse paraît aberrante. Ces quatre taxons n'étant pas reconnus par la littérature scientifique, ils n'ont pas été comptabilisés. Néanmoins, il serait intéressant d'approfondir les recherches car la description d'Agassiz, concernant *L. majalis*, en 1835 rejoint les observations réalisées par Quartier en 1955. Ainsi, *L. majalis* pourrait correspondre à l'able de Stymphale (*L. delineatus*). De la même manière, il demeure tout à fait possible que la palée de fond et la palée grasse puissent être les formes de corégones ne pouvant plus être distinguées à l'heure actuelle selon (Volanthen, et al., 2009).

En excluant ces incertitudes, la biodiversité pisciaire originelle du lac de Neuchâtel peut être estimée à un minimum de 32 espèces (Tableau 3.3).

24 sur 32 espèces
indigènes
répertoriées

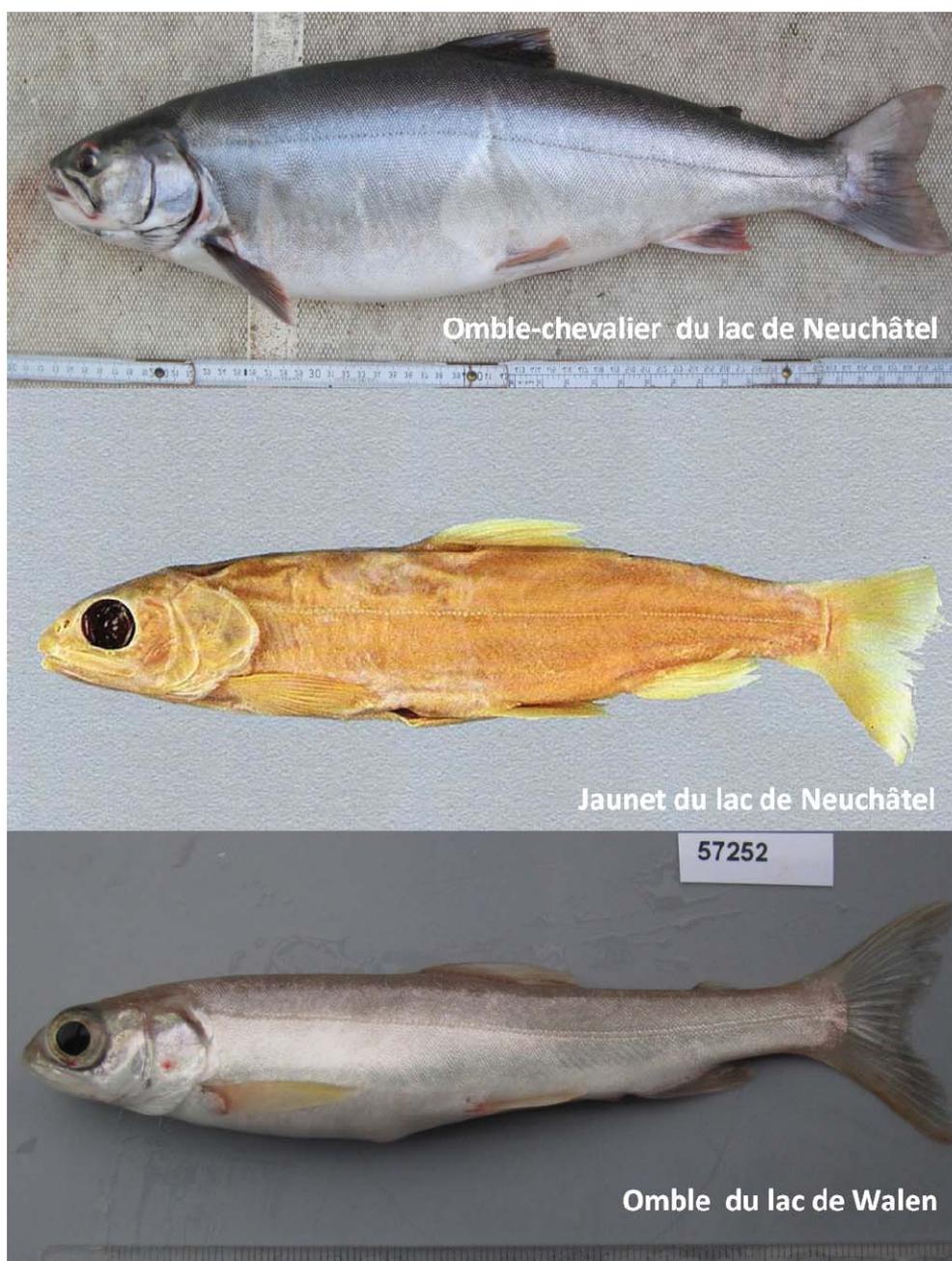
Or, en 2011, seules 21 espèces indigènes ont été inventoriées par l'échantillonnage du Projet Lac. Total auquel il faut ajouter trois espèces complémentaires non capturées (omble chevalier, hotu, anguille) mais déclarées par les pêcheurs. Finalement, seules 24 espèces autochtones sur 32 ont été répertoriées.

Si l'absence de capture des espèces de grands migrateurs (saumon atlantique et lamproie fluviatile) s'explique par l'isolement géographique du Lac de Neuchâtel avec les bassins versants de l'Aar et du Rhin intervenu au fil du temps, l'absence des 6 autres taxons reste préoccupante :

Disparition probable
de l'able de stymphale

- Concernant le barbeau fluviatile, le spirin, le blageon et l'ombre leur disparition quasi-totale du lac indique que la situation des populations dans les tributaires ne doit pas être optimale. Dans le cas contraire, quelques individus auraient du être capturés ; au moins à proximité des affluents, comme ce fut le cas sur d'autres lacs échantillonnés.
- Pour l'able de stymphale, la description très précise de Quartier en 1955 ne laisse aucun doute sur sa présence dans le lac (Quartier, 1955). Néanmoins, malgré une attention particulière lors de la détermination des petits cyprinidés aucun individu n'a été pêché. L'able de Stymphale a donc probablement disparu du lac de Neuchâtel.
- Pour l'omble chevalier, son absence au cours de cet inventaire reste inexpliquée. Alors que les pêcheurs professionnels et amateurs déclarent régulièrement quelques individus et malgré la pose spécifique de filets de fond positionnés sur des zones normalement convoités par cette espèce, aucun spécimen n'a pu être capturé. La situation de la population doit vraisemblablement être critique, car lorsque le lac contient une densité respectable d'ombles chevalier, ils sont fréquemment retrouvés grâce aux protocoles mis en œuvre (exemple des lacs de Sils, Poschiavo et Walen). En outre, selon la photographie réalisée sur un individu capturé par un

pêcheur amateur en 2011, la forme des ombles présents actuellement dans le lac de Neuchâtel est vraisemblablement *Salvelinus umbla* d'origine lémanique selon la littérature scientifique (Pedroli, 1983). En effet, la morphologie de l'individu mis en collection, en particulier la taille de l'œil par rapport à la tête, diverge grandement de celle décrite par (Kottelat, et al., 2007) ou de celle capturée dans le lac de Walen en 2011 (Figure 3.11). Le jaunet, ou omble des profondeurs, historiquement décrit sur Neuchâtel, a donc *a priori* disparu. Des analyses génétiques en cours dans le cadre d'un travail de Master (Dönz et al., sous presse) contribueront assurément à confirmer ce constat.



La disparition du jaunet apparemment confirmée

Figure 3.11 : Illustration d'un omble chevalier capturé en 2011 par un pêcheur amateur sur le lac de Neuchâtel (Photo : Quentin Jobin), comparée à celle historique de Kottelat & Freyhof (2007) et de celle échantillonnée dans le lac de Walen en 2011.

*Deux espèces
invasives*

En revanche, il est réjouissant de constater que sur les 9 espèces introduites recensées dans la littérature, seules 2 peuvent être rencontrées fréquemment (rotengle du sud et loche de rivière du sud). Pour les 7 autres, leurs captures restent rares, y compris pour le sandre comparativement aux lacs de Morat et de Biemme dans lesquels il est très abondant (BAFU, 2008)(Périer, 2012).

En définitive, le lac de Neuchâtel a :

- Perdu, *a priori*, 4 espèces (saumon atlantique, lamproie fluviatile, jaunet, able de stymphale)
- vu une réduction des populations de 7 espèces liées aux cours d'eau (barbeau fluviatile, blageon, hotu, spirin, ombre, lamproie de planer, anguille)
- récupéré, selon Pedrolì (1983), la souche lémanique de l'omble chevalier et qui actuellement s'est raréfiée.
- subi l'intrusion par 9 espèces allochtones dont deux peuvent être rencontrées fréquemment (rotengle du sud & loche de rivière du sud).

Au final, sur 32 espèces originelles, 24 ont pu être répertoriées en 2011 par l'échantillonnage du Projet Lac ou déclarées par la pêche, soit 75%. Parmi ces dernières, la bouvière, la carpe et la truite de lac ont 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 totales met en lumière une concentration des poissons entre 0 et 45 m de profondeur (Figure 3.12). Par ailleurs, l'essentiel des captures est constitué de corégones, de perches et de lottes.

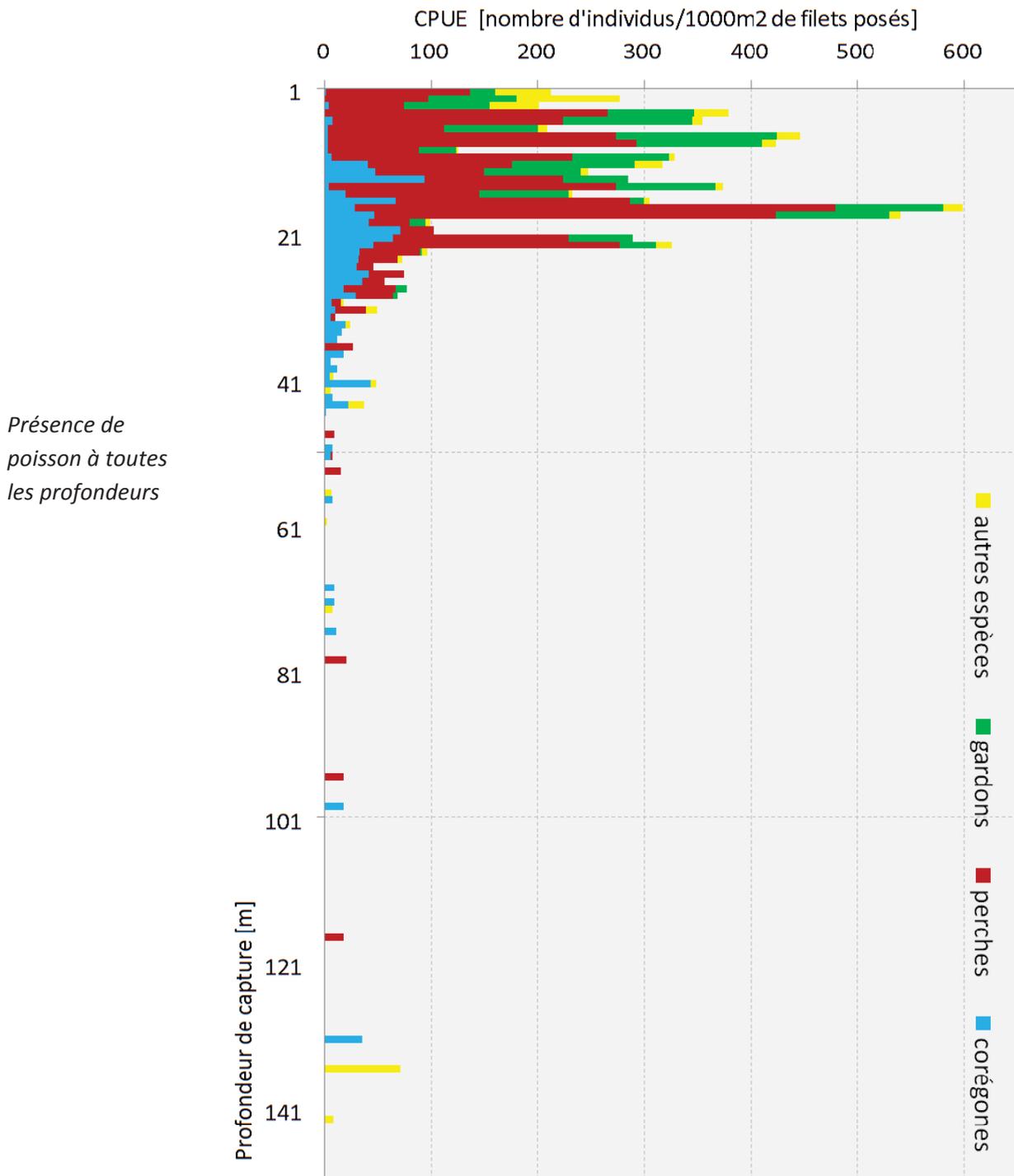


Figure 3.12 : Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti).

Cette distribution est confirmée par les analyses d'hydroacoustiques qui montrent que les poissons, en zone pélagique, sont concentrés à faible profondeur, jusqu'à 20 m surtout (Figure 3.13).

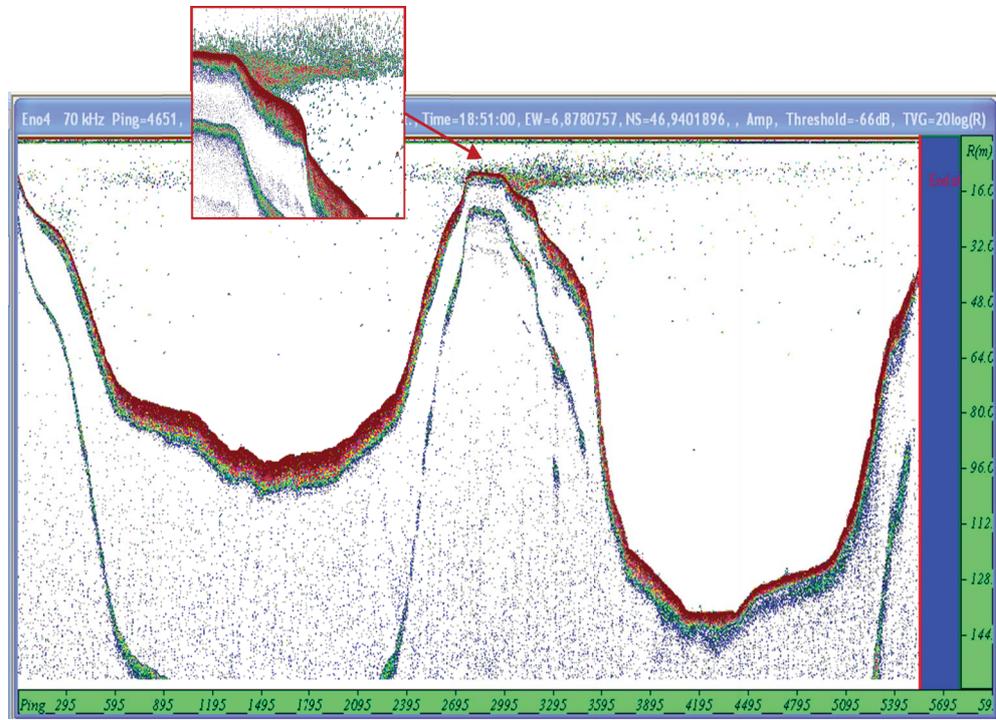


Figure 3.13 : Transect d'échointégration nocturne réalisé perpendiculairement au sens du courant à la hauteur de la Motte. (donnée INRA, Colon & Guillard).

L'expression horizontale des résultats d'hydroacoustique (Figure 3.14) révèle également que la couche supérieure (jusqu'à 20 m) semble plus densément peuplée sur le haut lac ainsi que sur les talus plutôt que sur la plaine au dessus d'une grande profondeur.

Concernant la couche inférieure, le centre nord du lac paraît contenir le plus grand nombre de poissons (Figure 3.15).

Le bas-lac semble plus peuplé que le haut lac

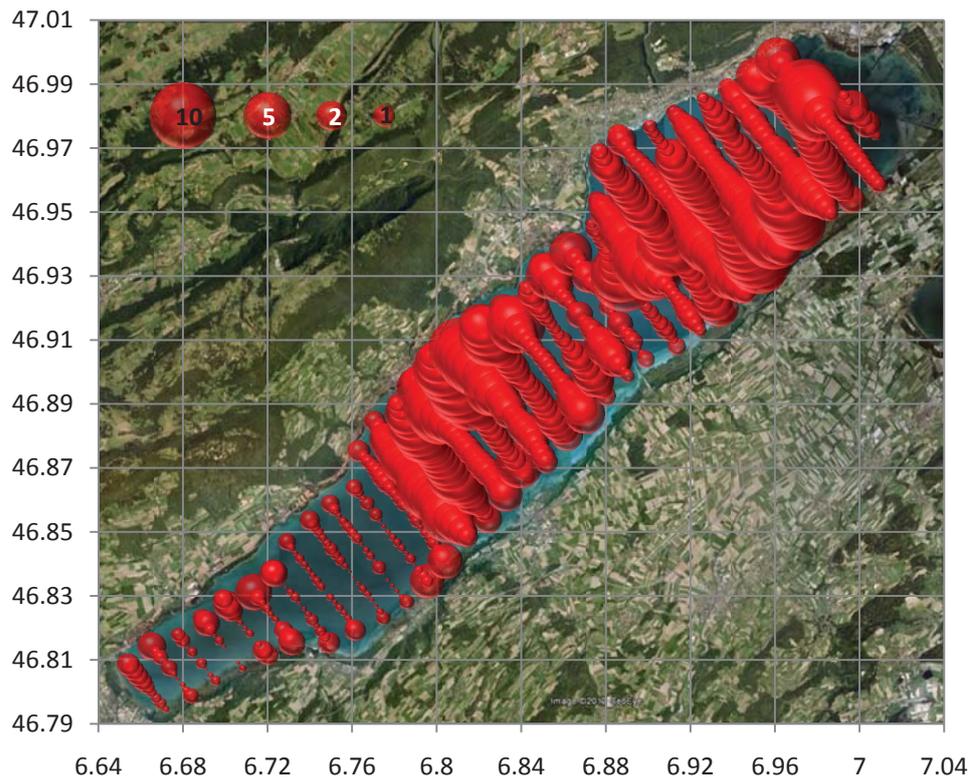


Figure 3.14 : Séquences d'échantillonnage de la couche supérieure (2.5m -20m) [$Sa(m^2 \cdot ha^{-2})$]. Parcours de nuit (33 transects, Données INRA Colon & Guillard).

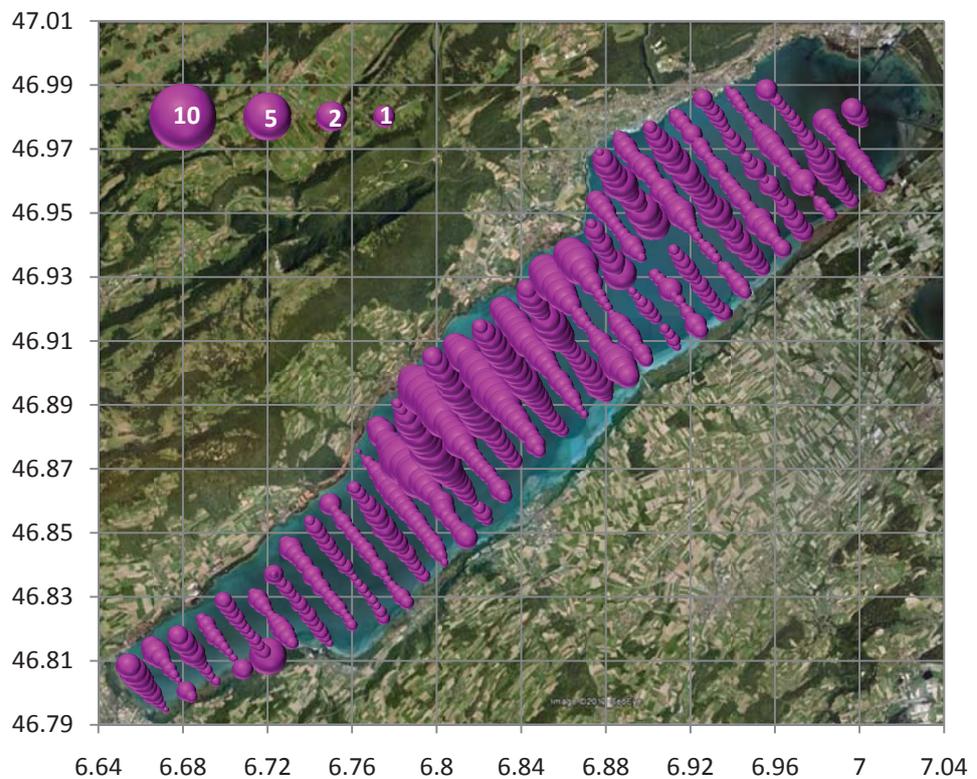


Figure 3.15 : Séquences d'échantillonnage de la couche inférieure (20m -fond) [$Sa(m^2 \cdot ha^{-2})$]. Parcours de nuit (33 transects, donnée INRA, Colon & Guillard).

De plus, il apparaît que la densité de corégones capturés est plus élevée en amont qu'en aval. (Figure 3.16)

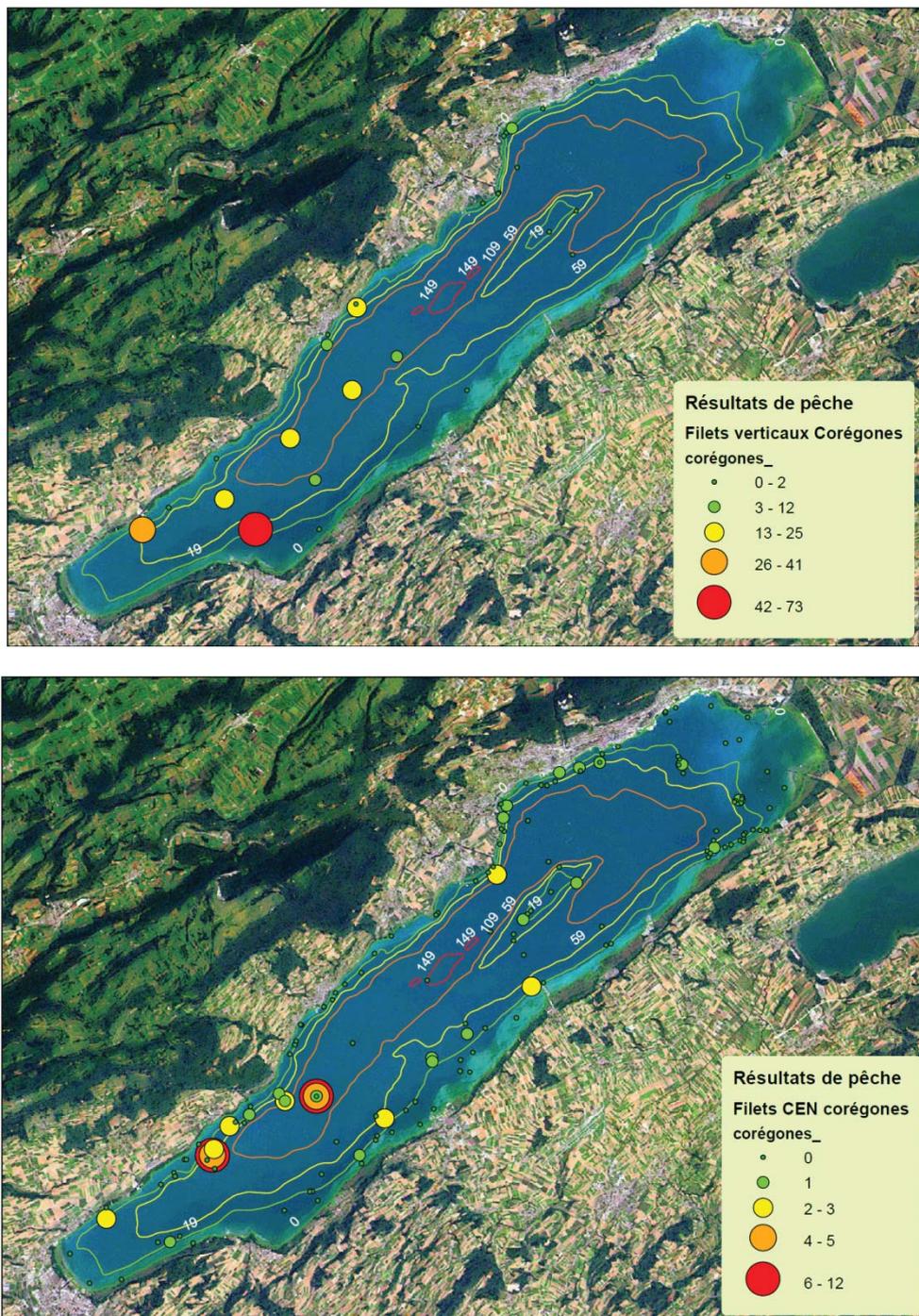


Figure 3.16 : Répartition géographique des captures de corégones (Verti/CEN).

En revanche, pour le gardon et surtout le rotengle, la tendance apparaît inverse. Le bas lac présente une densité de cyprinidés plus importante que le haut lac. (Figure 3.17)

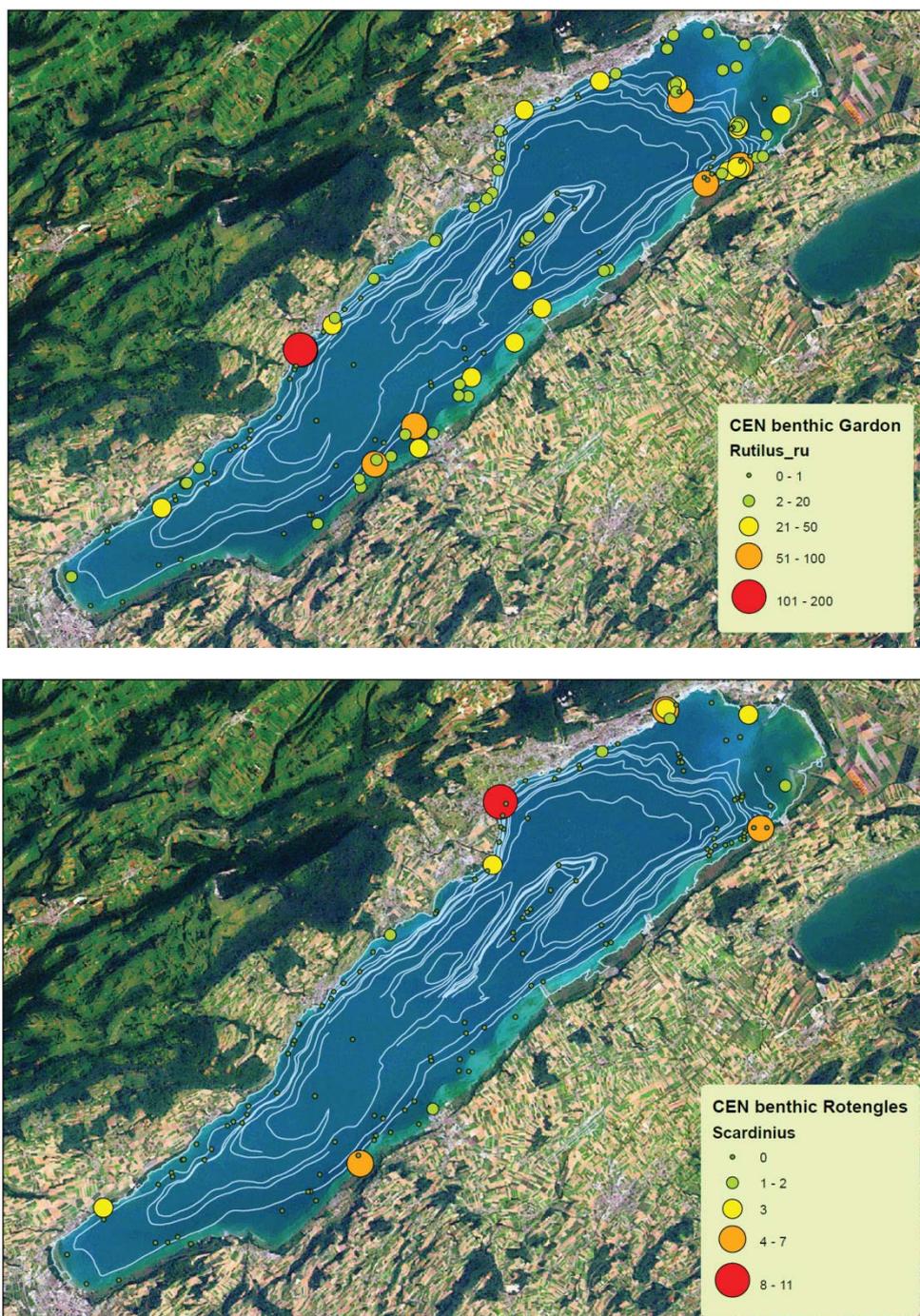


Figure 3.17 : Répartition géographique des captures benthiques de gardon et de rotengle (sud & nord) (CEN).

Ensuite, il apparaît que la perche semble quant à elle uniformément répartie (Figure 3.18).

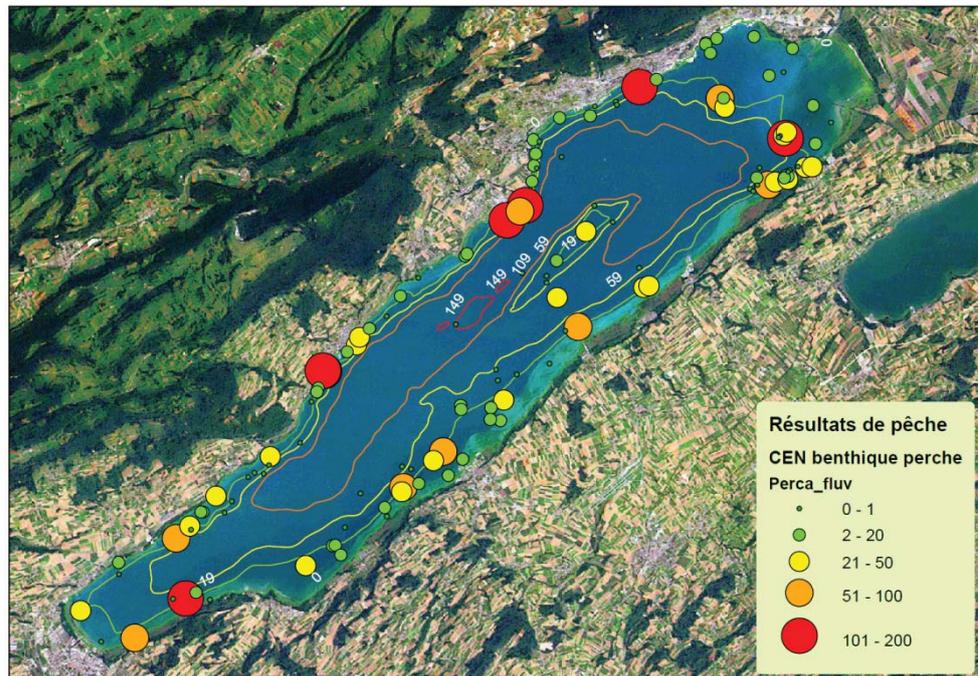


Figure 3.18 : Répartition géographique des captures benthiques de perche (CEN).

Toutefois, la proportion de perches qui présentaient des traces de parasites, type "blackspot" provoquées par des vers plats comme *Posthodiplostomum cuticola*, *Apophyllus donicus* ou *A. muehlingi*, est nettement supérieure en aval (Figure 3.19 & Figure 3.20). Des observations similaires peuvent être faites avec les cyprinidés.

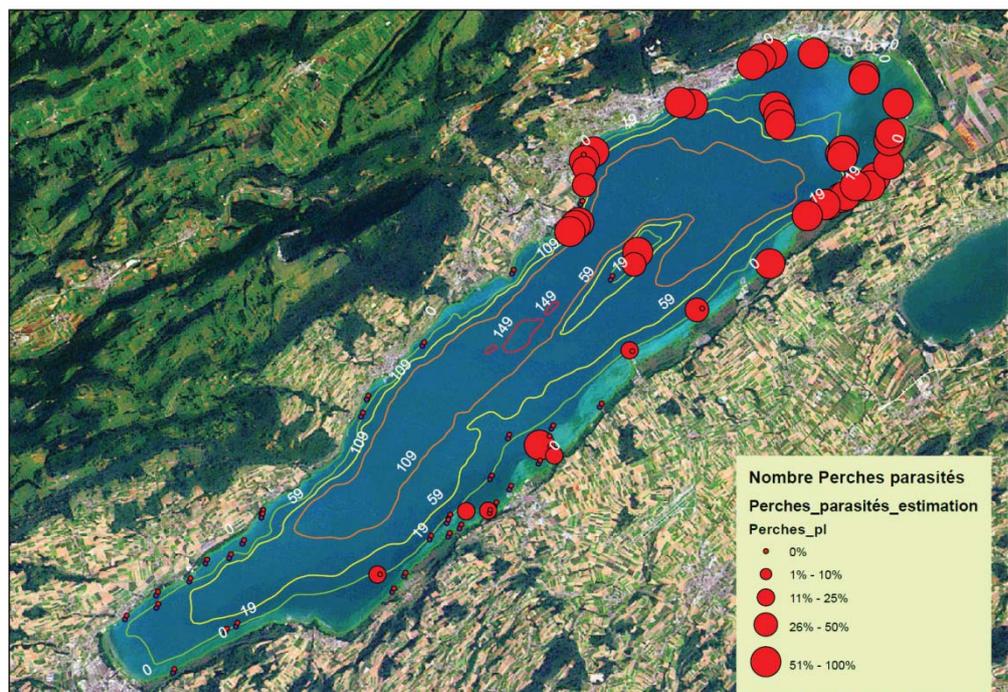


Figure 3.19 : Proportion de perche capturée de plus de 12 cm arborant la présence de parasite (tout protocole°: Verti/CEN/Elec et tout degré d'infestation confondu figure 3.20).



Figure 3.20 : Illustration des différentes densités de traces de parasites, type "blackspot" provoquées par des vers plats comme *Posthodiplostomum cuticola*, *Apophallus donicus* ou *A. muehlingi*, sur les perches.

3.3.4 Rôle des habitats

Dans le détail, la distribution des espèces capturées dans le littoral met en évidence l'importance de la structure de l'habitat. En particulier, les galets, les blocs, les hélophytes ainsi que l'embouchure des affluents peuvent être considérés comme « le berceau de la biodiversité du lac ». On rencontre dans ces habitats près des trois-quarts de la variété des espèces observées (Figure 3.21)

Filets verticaux littoraux [Ind/1000m ² de filets posés] (CPUE)		Type d'habitats pêchés		Perche	Rotengle (N+S)	Gardon	Chevesne (N+S)	Vandoise	Soujon	Fanche	Brochet	Ablette	Plantelle	Sandre	Carpe	Brème	L. de rivière (S)	Lote	Chabot	Vairon	Truite	L. franche	Bouvière	Diversité par méthode	Diversité cumulée des 2 méthodes	
Habitats structurés	Eau courante	Affluent		5.1	20.4	86.7	15.3	20.4		5.1	5.1	15.3		5.1										9	11	
		Efférence		125.0	17.9	232.1	35.7						17.9												5 *	6
	Végétation	Hélophyte		146.4	39.3	46.4	32.1	7.1	21.4		3.6	3.6				3.6									9	11
		Hydrophyte		61.2	61.2	117.3			5.1								5.1	5.1							6	7
		Branchage		92.9	0.0	14.3	64.3	28.6											7.1						6	6
	Minéral	Galet		77.9	26.0	39.0	13.0	71.4	13.0					6.5											7	12
		Bloc		133.9	35.7	17.9			13.4		4.5										4.5				6	12
		Galet/Gravier		35.7	71.4		23.8				11.9														4	5
		Gravier		71.4	571.4																				2	2
		Galet colmaté		71.4	250.0																				2	2
	Habitats non structurés	Fond nu		17.9		17.9																			2 *	2
				48.7		45.5	16.2	3.2	9.7			9.7		3.2											7	7
Habitats structurés	Eau courante	Affluent		140.0							10.0							30.0			110.0			4 *	11	
		Efférence		50.0															33.3					2	6	
	Végétation	Hélophyte		5.8	19.2	3.8					3.8	3.8	1.9						3.8						7	11
		Hydrophyte		18.2		36.4							18.2												3	7
		Branchage		33.3			11.1	11.1	44.4										11.1						5 *	6
	Minéral	Litière		37.0	18.5				74.1	555.6						37.0						55.6			6 *	6
		Bloc		113.3	4.4	4.4			2.2	11.1						2.2	2.2	15.6	11.1	51.1	27.6	77.8	15.6		12 *	12
	Habitats non structurés	Fond nu	Galet						7.9	3.9								3.9	3.9		27.6	94.5	25.0		6 *	12
			Galet/Gravier																						1	2
	Habitats non structurés	Fond nu				300.0				16.7										16.7			33.3		4 *	7

En rouge habitat au peuplement le plus diversifié

* = habitat où l'abondance des captures est significativement différente (permutation test)

Figure 3.21 : Répartition des captures par type d'habitats littoraux. (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.

La structure de population du gardon montre des cohortes proportionnellement bien équilibrées. En revanche, le corégone et surtout la perche révèlent une faible proportion d'individus âgés de plus de 2 ans. A noter que pour la lotte, la taille ne permet apparemment pas de distinguer les différentes classes d'âge.

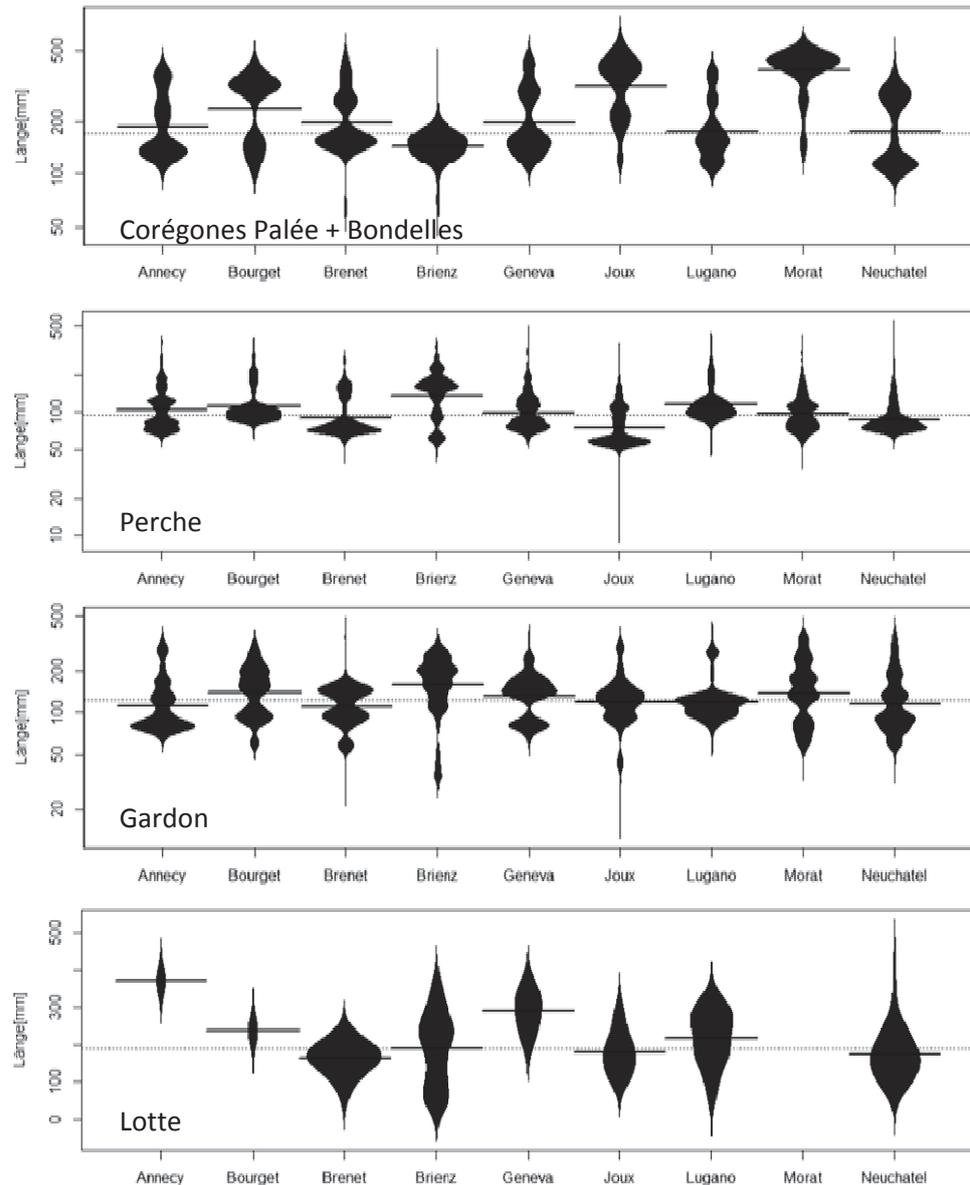


Figure 3.22 : Structure des populations comparées de quelques espèces les plus communes.

3.4.2 Rendement pêche comparé aux filets CEN :

A titre de comparaison, selon le protocole CEN, le lac de Neuchâtel possède une biomasse piscicole moyenne à faible, composée essentiellement de petits poissons (Figure 3.23).

*Un lac à
petits poissons
moyennement
productif*

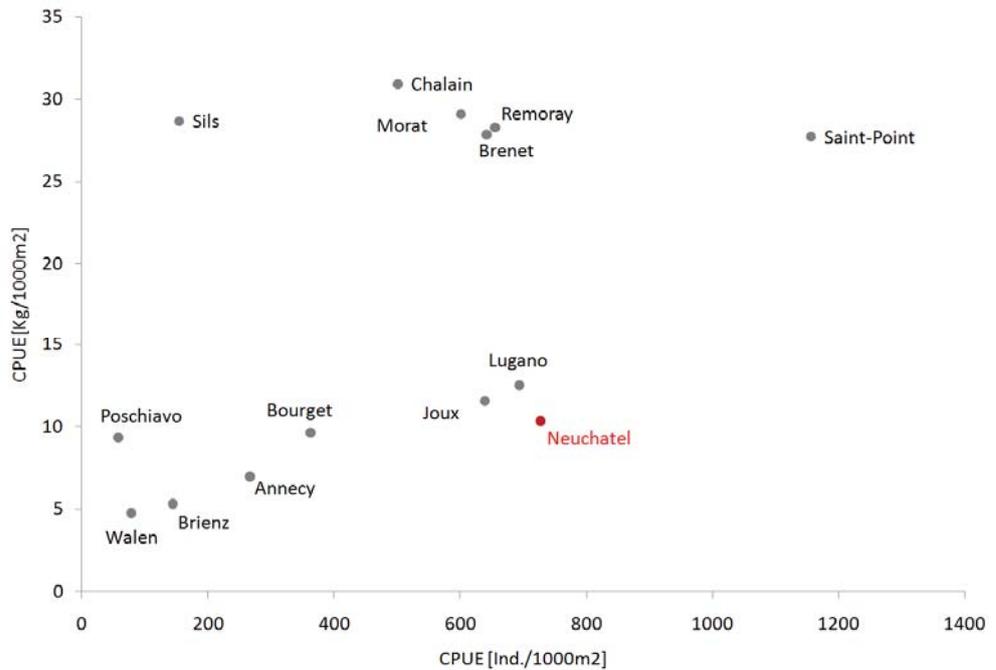


Figure 3.23 : Rendement de pêche comparé, toute espèce confondue, par application du protocole CEN de la Directive cadre européenne sur l'eau (prEN14757, 2005).

3.5 Gestion halieutique

3.5.1 Situation actuelle

Les trois principales espèces prises par les pêcheurs sur le Lac de Neuchâtel en 2011 sont la palée, la bondelle et la perche (Figure 3.25). Il est important de souligner que la statistique de la pêche ne distingue que 19 des 26 espèces dont la présence a été confirmée par l'échantillonnage pisciaire.

Seules 19 espèces
annoncées

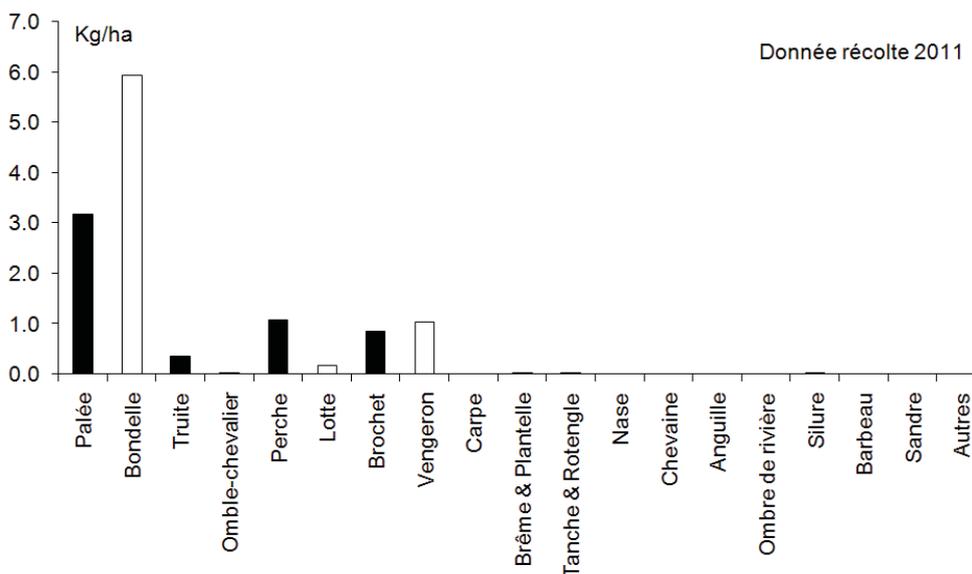


Figure 3.24 : Statistique halieutique du Lac de Neuchâtel en 2011. (données Cantons de Vaud, Neuchâtel et Fribourg)

A l'échelle d'autres grands lacs alpins du pays, les captures cumulées de ces espèces prisées restent sur Neuchâtel à un niveau moyen (Figure 3.25). Précisons toutefois que la variation de pression pêche d'un lac à l'autre est inconnue et qu'en conséquence ces chiffres sont à considérer avec réserve.

Une récolte de
pêche moyenne à
l'échelle nationale

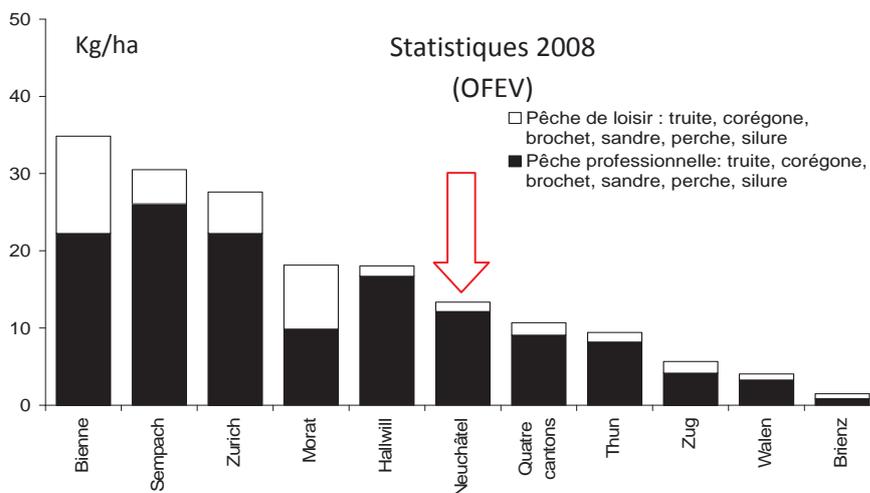


Figure 3.25 : Statistiques halieutiques comparées des lacs situés entièrement sur le territoire suisse en 2008. Cumul des captures de perche, sandre, brochet, silure, truite et corégone (Données Cantons & OFEV).

3.5.2 Situation historique

Selon les statistiques halieutiques, la récolte de la pêche a atteint son apogée deux fois : entre 1950 à 1960 ainsi que dans les années 1980 à 1990 (Figure 3.26). La situation actuelle est comparable à celle des années 30 à 40 ainsi qu'au cœur du pic de pollution organique (avant 1982). Il est, de plus, important de remarquer qu'à la fin de cette période de pollution, la capture des espèces de cyprinidés dominait celle des espèces économiquement recherchées.

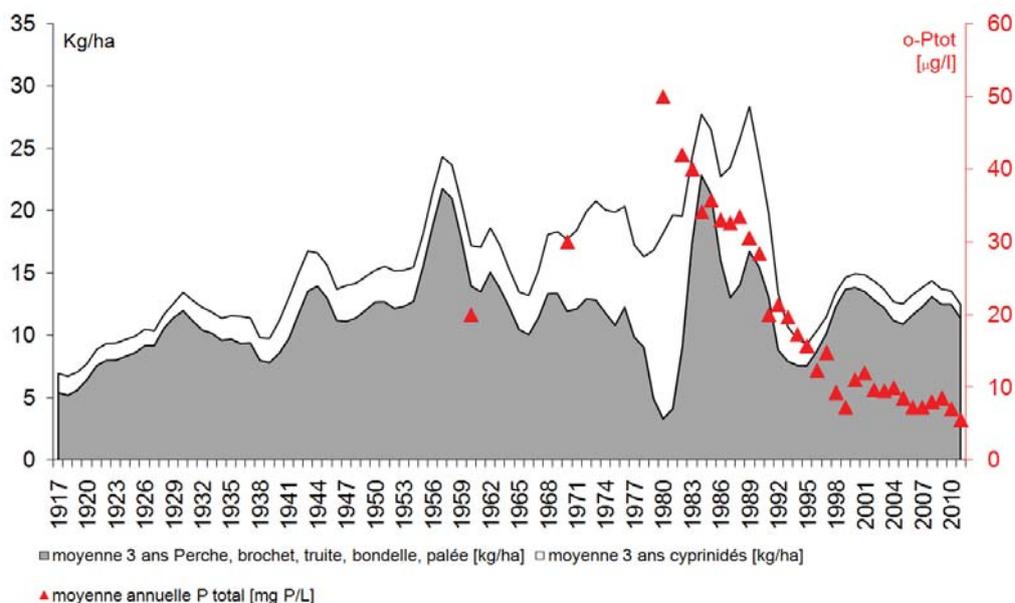


Figure 3.26 : Evolution des statistiques halieutiques (pêche de loisir et professionnelle cumulée) du Lac de Neuchâtel (données Cantons de Neuchâtel/Fribourg/Vaud & Liechi, 1994).

De la même façon, le détail des captures met en lumière un changement radical d'intérêt pour la pêche lors de la période de forte pollution organique. Alors qu'historiquement le lac de Neuchâtel était essentiellement pêché pour ses salmonidés : truites, corégones, ombles et même le saumon (Vouga, 1918)(Quartier, 1943)(Jeanneret, 1967)(Vauthier, 1996), la récolte de la perche dépasse celle des corégones entre 1962 et 1980. Ensuite, les captures retrouvent petit à petit leurs proportions en faveur des bondelles des années 40 (Figure 3.27).

Cependant, les variations d'efforts de pêche au fil du temps n'étant pas connues, il convient ici de considérer ces diverses tendances avec réserve.

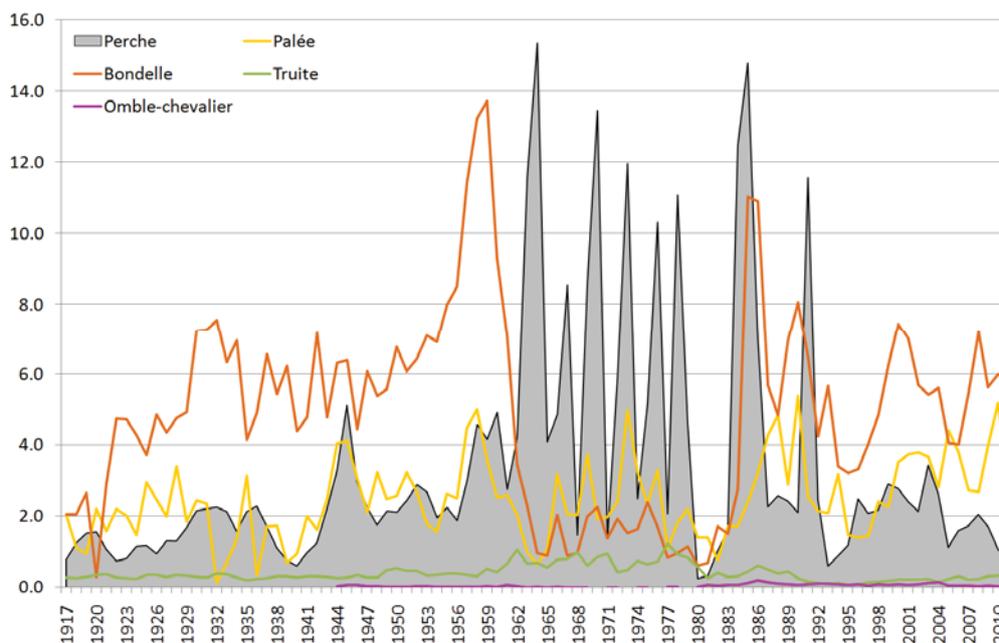


Figure 3.27 : Evolution de la récolte des salmonidés et de la perche du Lac de Neuchâtel (données Cantons de Neuchâtel/Fribourg/Vaud).

3.5.3 Récolte halieutique vs Rendement des captures

Une pêche très ciblée

Une comparaison avec les densités relatives du peuplement présent dans le plan d'eau en octobre 2010 révèle le caractère très sélectif de la pêche. En particulier, il est à remarquer que les corégones constituent l'essentiel des captures des pêcheurs professionnels.

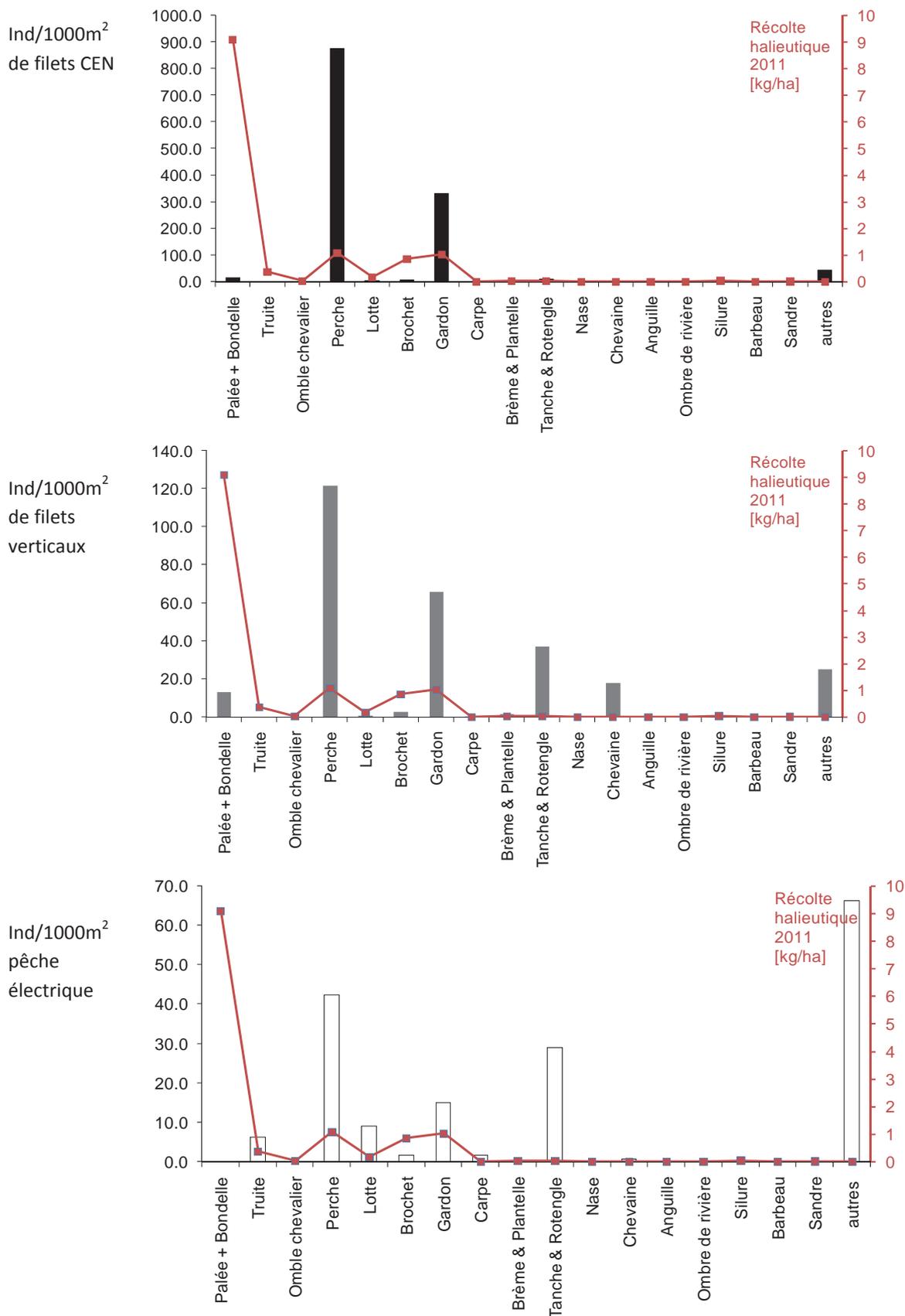


Figure 3.28 : Estimation des proportions relatives de chaque espèce en 2011, déterminée à partir des trois protocoles d’inventaire réalisés et comparée à la récolte halieutique déclarée en 2011 (pêche de loisir et professionnelle cumulées, données Canton de Neuchâtel, Fribourg, Vaud).

Cette pression de pêche très ciblée semble avoir une influence sur la structure des populations. En effet, grâce aux filets multi-maillages utilisés (5 à 60 mm), les captures de chaque maille pour les espèces les plus communes et à chaque taille d'individu peuvent être connues (Figure 3.29).

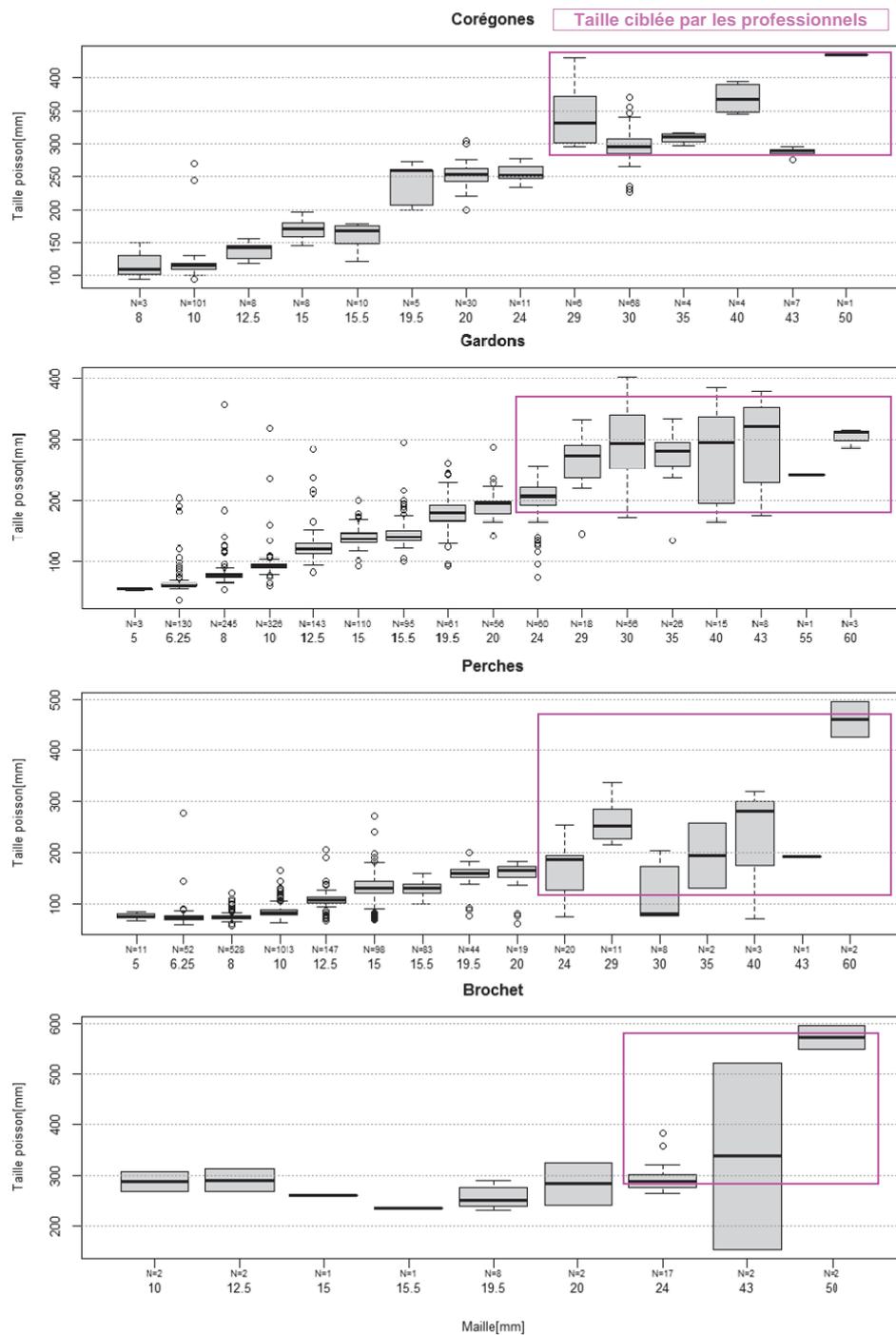


Figure 3.29 : Taille des individus capturés en fonction des mailles de filets verticaux et CEN posés en 2011.

Il est donc possible de vérifier si la pression de pêche effectuée par les professionnels avec des mailles à partir de 23 mm pour la perche, gardon, rotengle et de 33 mm pour les corégones a un impact sur la structure des populations.

Un impact direct sur les structures de populations

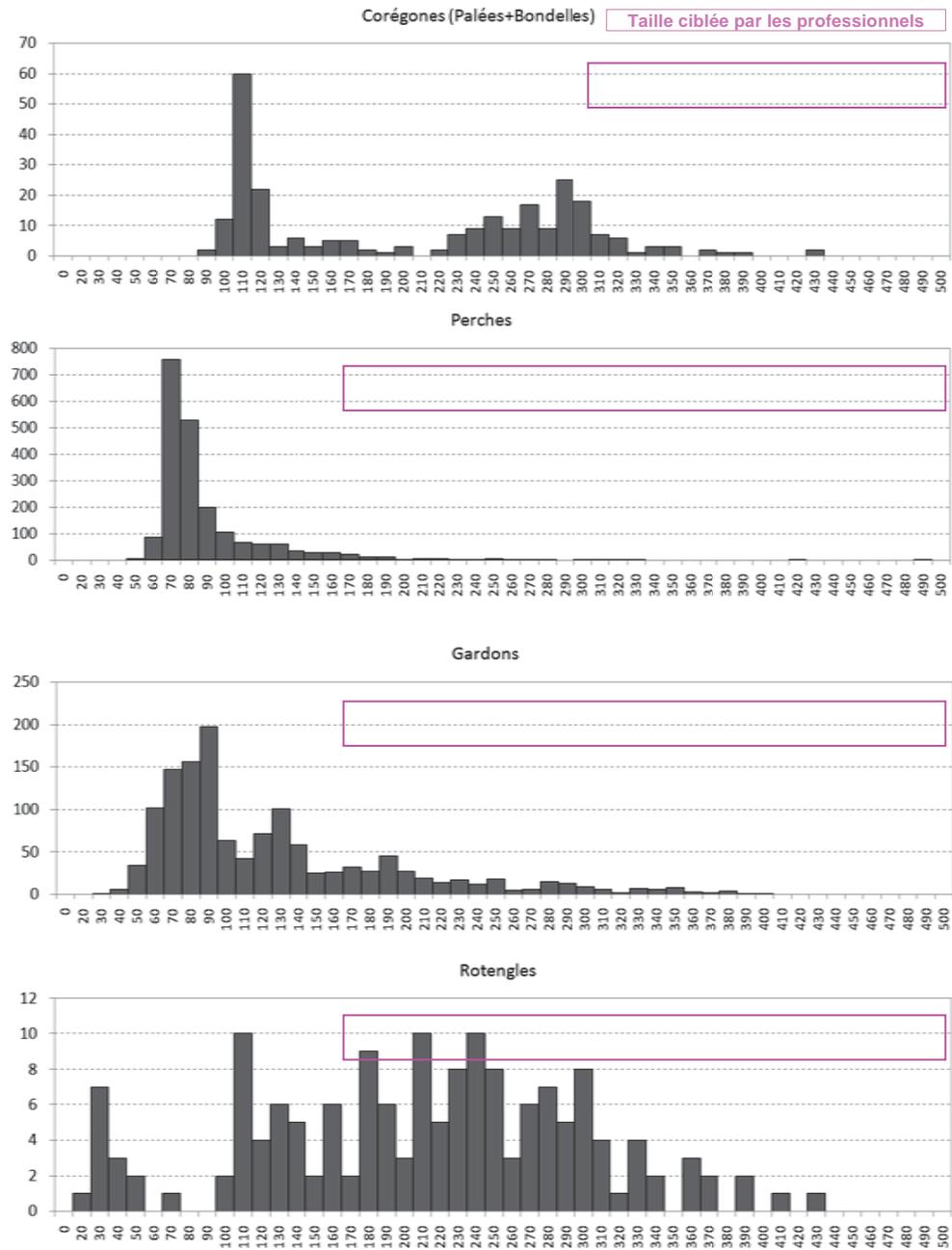


Figure 3.30 : Répartition de chaque classe de taille pour chaque espèce en 2010 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.

Or, il apparaît que les populations des espèces économiquement fortement recherchées (corégones et perches) présentent une faible proportion de poissons de grande taille (Figure 3.22 et Figure 3.30). Les juvéniles, composés apparemment pour la plupart d'estivaux (0+) et de poissons âgés de un an (1+), sont largement majoritaires.

Ensuite, dès que les individus atteignent la taille capturable par les mailles des pêcheurs professionnels, les classes de taille sont largement sous-représentées. A noter que les gardons et surtout les rotengles (les deux espèces confondues) ne semblent pas subir le même sort : les poissons de grandes tailles, les adultes, sont présents dans des proportions équivalentes. Ainsi les espèces sans valeur économique n'apparaissent pas affectées par la pêche.

Cependant, il est important de préciser que pour les espèces communes (perches, corégones, gardon, rotengle), le recrutement semble fonctionnel. Ainsi la densité d'adultes et la qualité de la reproduction dans le plan paraissent suffisantes pour renouveler les populations, ou à défaut, les actions de repeuplement réalisées, en particulier pour le corégones, s'y substituent. En définitive, en l'état, l'exploitation des stocks est, *a priori*, durable.

4 Synthèse et Conclusion

4.1 Diagnose écologique

En 2011, Le lac de Neuchâtel possède encore la plupart des espèces originelles décrites par la littérature. Néanmoins, certains taxons, en particulier ceux liés aux cours d'eau, se sont raréfiés ou auraient disparu. De plus, le corégone et la perche présentent des populations possédant un recrutement fonctionnel mais demeurent déficitaires en adultes.

En aval, la situation se dégrade

Par ailleurs, la répartition des poissons dans le plan d'eau montre une dichotomie claire. En automne, en aval, les cyprinidés ont tendances à supplanter les corégones qui dominent l'amont. Enfin, sur le bas lac, les individus capturés étaient beaucoup plus parasités par un ver plat type "black spot" que sur le haut lac. Sachant que, en milieu aquatique, le degré de parasitisme est proportionnel à la présence de polluants (Khan, 1991) ou de stress environnementaux, plus on s'approche de l'exutoire, plus l'ichtyofaune du lac de Neuchâtel paraît souffrir d'une dégradation de la qualité d'eau et/ou des habitats. La situation écologique du plan d'eau n'est ainsi vraisemblablement pas optimale.

Les causes les plus probables à ce constat sont les suivantes :

- **Une transformation totale des habitats littoraux :** A l'origine, les rives étaient pour l'essentiel des grèves minérales (galet, gravier, sable) subissant des variations de niveaux d'eau récurrentes (De Montmolin, 1835). Les corrections successives des eaux du Jura ont favorisé leur végétalisation progressive (Ritter, 1902)(Vauthier, 1996). A l'heure actuelle, les héliophytes et les hydrophytes représentent la moitié des habitats structurés, ce qui n'était pas le cas auparavant (Figure 4.1).

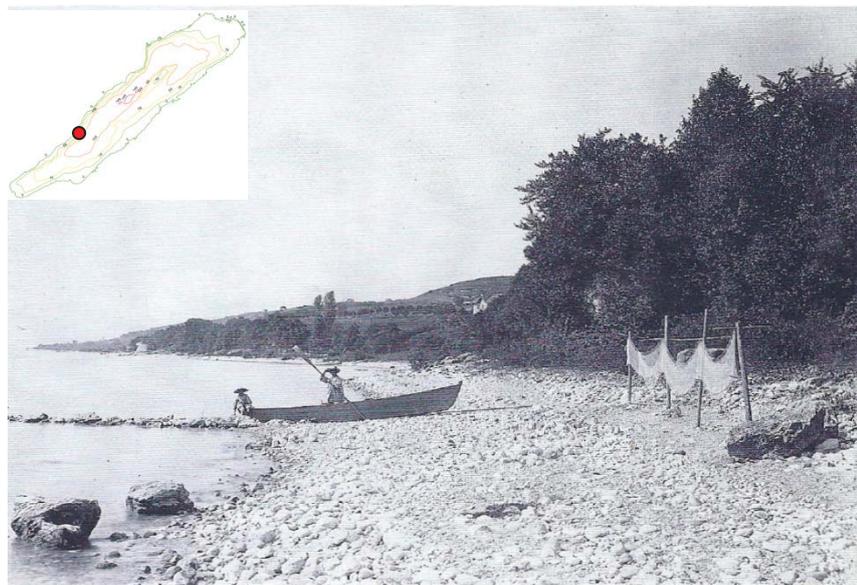


Figure 4.1 : Image du rivage de la Béroche au début du 20^{ème} siècle, montrant l'importance des variations de niveaux d'eau et la dominance minérale de la grève. (tiré de (Vauthier, 1996))

Cette stabilité de niveau d'eau a également favorisé l'urbanisation du rivage : actuellement 40% des berges sont construites et/ou consolidées. De plus, avec l'abaissement forcé du niveau du lac qui a atteint 3.2 m en 150 ans, les espèces inféodées aux cours d'eau ont certainement rencontré des difficultés à accomplir leur cycle de vie. Enfin, le changement de régime hydrologique imposé, notamment par des hautes eaux en été plutôt qu'au printemps et à l'automne, a également du avoir une influence notable.

- **Une dégradation de la qualité des eaux** : Si les efforts en matière d'épuration ont réussi à réduire la pollution au phosphore, force est de constater que la situation du plan d'eau en termes d'oxygénation des couches profondes est préoccupante. Les nitrates ne cessent d'augmenter et l'oxygénation des fonds diminue. Les causes de raréfaction de l'omble chevalier, poisson typique des profondeurs, sont vraisemblablement liées aux problèmes de qualité d'eau. Il en va probablement de même concernant la prolifération des parasites sur l'ensemble du bas lac.

- **Une pêche ciblée sur les adultes de corégones et de perches** : De part sa forte pression sélective ainsi que sa législation qui limite la taille de capture et des mailles des filets, la pêche semble affecter la structure des peuplements de corégones et de perches sans toutefois mettre en péril le renouvellement des populations.

Une productivité globale diminuée

En définitive, la transformation de la morphologie du lac de Neuchâtel provoquée par l'abaissement du niveau d'eau, la modification du régime hydrologique et l'artificialisation des rives a, *a priori*, favorisé les poissons phytophiles, c'est à dire utilisant la végétation pour se reproduire (cyprinidés, perches) ; ce, au détriment des corégones et des espèces d'eau courante. Dans le même ordre d'idée, une dégradation de la qualité de l'eau semble jouer un rôle identique sur le bas lac et doit également être impliquée dans la prolifération d'une parasitose. L'ensemble de ces perturbations grève assurément la productivité globale du plan d'eau qui apparaît inférieure à celle des lacs calcaires voisins.

Néanmoins, le faible nombre d'espèces invasives observées suggère que les potentiels pisciaires du lac de Neuchâtel ne demandent qu'à être augmentés.

4.2 Exploitation halieutique

*Projet lac =
données
standardisées*

Avant toute chose, il est important de préciser que malgré plus de 300 actions de pêche, les frappes sur le stock de poisson (282 kg prélevé au total) sont infimes par rapport à la récolte halieutique déclarée en 2011 (276 tonnes). Cette technique pertinente d'échantillonnage multi protocoles est donc supportable pour le peuplement lacustre et procure des résultats 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, qui, à partir de leur ichtyofaune pourra être éditée, et ce, à l'échelle nationale. La valeur de cette information est donc supérieure à celle issue des statistiques de récolte de pêche non standardisées et toujours biaisées par des intérêts économiques.

*Une récolte
actuelle moyenne*

Toutefois, les chroniques halieutiques ont le mérite de constituer les seuls témoins chiffrés de l'évolution de la pêche. Or, historiquement, le lac de Neuchâtel était prisé pour ses salmonidés : corégones, truites, ombles et même saumon (Vouga, 1918)(Quartier, 1943)(Jeanneret, 1967)(Vauthier, 1996). Cependant, pour la première fois, en 1962 (Quartier, 1964), la perche devint le poisson le plus capturé et parallèlement, la récolte des cyprinidés s'accrut. Cette situation perdura jusqu'en dans les années 80. Ensuite, les captures ont progressivement retrouvé les proportions constatées dans les années 40 en faveur de la bondelle. Actuellement, la récolte halieutique du lac de Neuchâtel est moyenne tant d'un point de vue historique que géographique sur le plan national.

4.3 Conclusion

Les enseignements mis en évidence par le Projet Lac concordent avec les hypothèses pouvant être émises par l'analyse des captures. Une dégradation de la qualité de l'eau et une transformation totale de la morphologie du lac sont, *a priori*, responsables de grandes modifications subies par le peuplement pisciaire du lac de Neuchâtel, au fil des époques :

- Les cyprinidés et la perche ont été favorisés au détriment des salmonidés durant la période de forte pollution organique
- Un retour à la situation de 1940 semble s'être effectué pour le haut-lac. En revanche, le bas lac reste dominé par les cyprinidés et souffre d'une parasitose qui touche essentiellement la perche et qui fragilise le peuplement.
- Les espèces liées aux cours d'eau et inféodées aux grandes profondeurs se sont progressivement raréfiées et ont malheureusement pour certaines totalement disparues.

La situation écologique automnale actuelle du plan d'eau paraît être plus favorable que dans les années 80, mais demeure non optimale. Cependant, le lac a su conserver la plupart de ses espèces indigènes. En conclusion, l'espoir d'une restauration est donc bien réel.

5 Perspectives :

5.1 Recommandations environnementales

Il convient en toute logique de poursuivre les efforts en matière d'épuration et de limitation des intrants d'origine agricole et industrielle, afin que le lac tende à retrouver sa qualité d'eau d'antan mais aussi pour que la diminution progressive de l'oxygénation des couches profondes soit enrayerée.

Parallèlement, la sauvegarde et la restauration morphologique des zones littorales doivent débiter. Il est grand temps de prendre conscience de l'importance de la ceinture d'habitats littoraux structurés pour les écosystèmes lacustres. Cette politique devrait également inclure une remise en question de l'artificialisation totale actuelle du régime hydrologique. Elle pourrait, par exemple, être couplée aux projets nationaux de revitalisation qui sont en cours de développement sur les cours d'eau.

En outre, il est important d'ajouter que bien que la charge organique ait diminué, aucune donnée disponible ne permet de statuer sur le degré de pollution en toxiques de synthèse dont l'utilisation a explosé au cours du 20^{ème} siècle. Il serait donc opportun de réaliser un bilan du degré de contamination ; l'impact des polluants de synthèse sur les biocénoses n'étant plus à démontrer (Hesman, 2000).

5.2 Recommandations halieutiques

Il est nécessaire de préciser que l'objectif premier de cette étude sur le peuplement pisciaire du lac de Neuchâtel n'a pas de vocation halieutique. Cependant, il appert que l'exploitation actuelle semble durable. Néanmoins, afin de réduire l'impact de la pêche sur la structure des populations de corégones et de perches, une piste en faveur d'une modification de réglementation peut être suivie. 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 détail avec les milieux de la pêche.

Il s'agirait pour la pêche professionnelle de supprimer la limite de maille de 23 mm et la taille de capture de la perche à 15 cm, comme c'est déjà le cas pour les amateurs. Le prélèvement dans les stocks dès les plus jeunes stades serait encouragé. 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. De plus, 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.

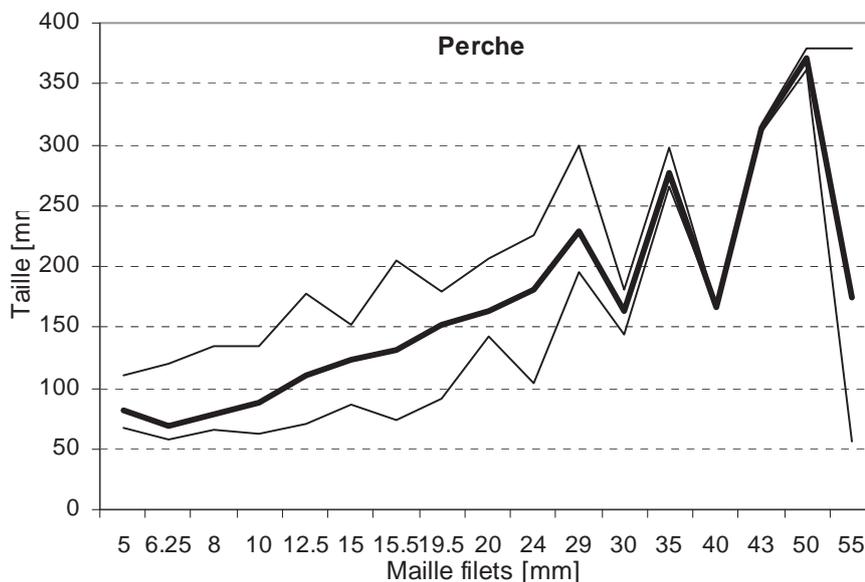


Figure 5.1 : Gradient de taille de captures pour chaque maille de filet calculé pour la perche.

6 Bibliographie

- Agassiz L.** Description de quelques espèces de cyprins du Lac de Neuchâtel, qui sont encore inconnues aux naturalistes. [Article] // Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel 1/1835. - 1835. - p. 1/.
- BAFU** Pisces Atlas. Zaugg B., Stucki P., Pedroli J.C., Kirchofer A., [Livre]. - Bern : BAFU, 2003.
- BAFU** Statistique de la pêche en suisse [Rapport]. - Berne : rapport interne, 2008.
- De Montmolin A** Note relative aux variations du niveau du Lac de Neuchâtel, pendant les années 1817 à 1834 [Article] // Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel. - 1835. - 1(1835).
- Degiorgi F [et al.]** Echantillonnage de l'ichtyofaune lacustre: engin passifs et protocole de prospection [Section du livre] // Gestion piscicole des grands plans d'eau / auteur du livre Gerdeau D. - Paris : INRA, 2001.
- Du Plessis G. Combe, J.** Faune des vertébrés du district d'Orbe. Part 2, Poissons. [Article] // Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles . - 1868. - pp. 10(1868-1870).
- Guillard J et Marchal E** L'hydroacoustique, méthode d'étude de la distribution spatiale et de l'abondance des peuplements pisciaires lacustres [Section du livre] // La gestion piscicole des grands plans d'eau / auteur du livre Gerdeaux D.. - Paris : INRA, 2001.
- Hesman Tina** DDT treatment turns male fish into mothers [Article] // science. - 5 february 2000. - p. 87.
- Jeanneret A** La pêche et les pêcheurs du lac de Neuchâtel. Etude historique et ethnographique. [Livre]. - [s.l.] : Thèse de doctorat Université de Neuchâtel, faculté des lettres, 1967.
- Khan RA** Influence of pollution on parasites of aquatic animals [Article] // Adv Parasitol.. - 1991. - Vol. 30:201-38..
- Kottelat M et Freyhof J** Handbook of European Freshwater Fishes [Livre]. - Cornol : Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof, Berlin, Germany., 2007.
- Liechti P.** L'état des lacs en suisse [Rapport]. - Berne : OFEFP, Division protection des eaux et pêche, 1994.
- Mauvais G.** Richesse Ichtyologique des lacs de Constance et de Neuchâtel. [Article] // Bulletin suisse de pêche et de pisciculture. - 1930.

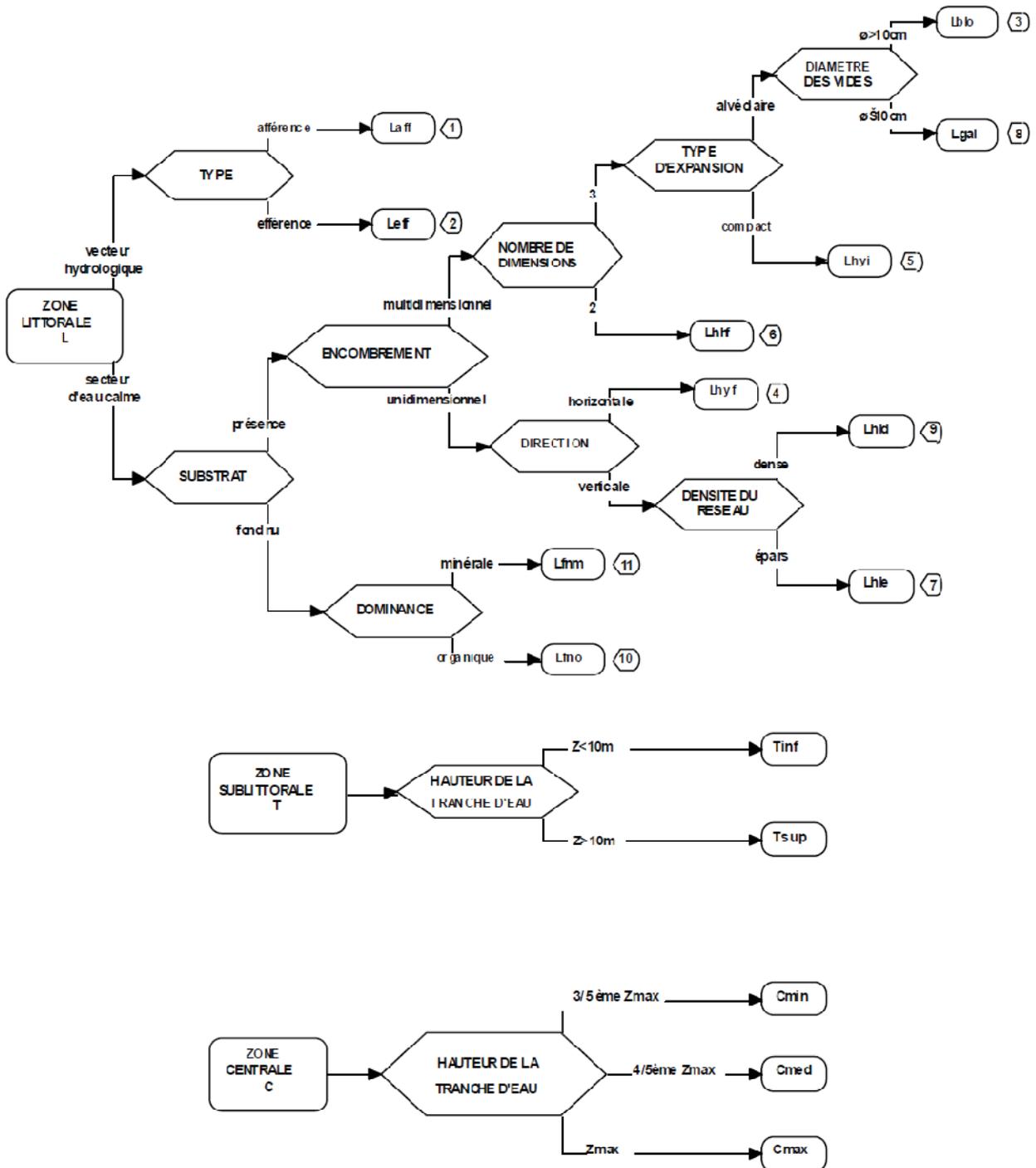
- Müller R** La Ilème correction des eaux du Jura, après sept années de travaux. [Article] // Separatdruck aus Wasser- und Energiewirtschaft/WEW(Baden) Nr. 7/8 .- [s.l.] : Separatdruck aus Wasser- und Energiewirtschaft/WEW(Baden) Nr. 7/8 1969, 1969.
- Musy M.** Statistique sur la distribution des poissons dans les lacs et les cours d'eau du canton de Fribourg. [Article] // Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. - 1880. - pp. 1(1879-1880).
- Pedroli J.C.** La réintroduction de l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* dans le lac de Neuchâtel(Suisse) [Article] // Bulletin Fr. Pêche Piscic.. - 1983. - pp. 290: 158-160.
- Pedroli J.C.** Les coregonos du lac de Neuchatel: rendement de la pêche; age et croissance des individus capturées par les pêcheurs professionnels. [Article] // Schweiz. Z. Hydrologie. - 1983. - pp. 45(1):345-358.
- Pedroli J-C** La réintroduction de l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* dans le lac de Neuchâtel(Suisse) [Article] // Bulletin français de la pêche et de la pisciculture. - 1983bis. - pp. 290: 158-160.
- Pedroli JC, Zaugg B et A. Kirchhofer** Atlas de distribution des poissons et cyclostomes de Suisse [Livre].- Neuchatel: Centre suisse de cartographie de la faune, 207 p., 1991.
- Périat G** Etude du peuplement pisciaire du lac de Morat [Rapport]. - Kastanienbaum : Eawag, rapport interne, 2012.
- Pokorni-Aebi B** Suivi de la qualité des eaux du lac de Neuchâtel (Suisse) [Article] // Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles. - 2002. - pp. 125-1.
- prEN14757 AFNOR** Water quality- Sampling of fish with multi-mesh gillnets. - [s.l.] : European comittee for standardization, 2005.
- Quartier A** La grande misère des bondelles [Article] // Bulletin suisse de pêche et de pisciculture. - 1964.
- Quartier A** La pêche dans le Lac de Neuchâtel. 1) la Pêche des corégonos [Article] // Bulletin de la Société neuchateloise de Géographie. - 1943.
- Quartier A** Sur la présence de *Leucaspius delineatus* dans le lac de Neuchatel [Article] // Bulletin de la Société neuchateloise des Sciences naturelles. - 1955. - p. t.78.
- Ritter G.** Sur la disparition des falaises de la rive sud du lac de Neuchâtel [Article] // Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles. - 1902. - pp. 30(1901-1902).

- SESA** Bilan de santé du lac de Morat - Etat 2009-2011 [Rapport]. - Lausanne : Laboratoire du Service des Eaux, Sols et Assainissement du Canton de Vaud , 2011.
- Sollberger H** Le Lac de Neuchâtel (Suisse). Ses eaux, ses sédiments, ses courants sous-lacustres [Rapport]. - Neuchâtel : Thèse Faculté des sciences Université de Neuchâtel, 1974.
- Vauthier B.** La pêche au Lac de Neuchâtel. Du Moyen Age à nos jours [Livre]. - [s.l.] : Cabédita, 290p, 1996.
- Volanthen P [et al.]** Divergence along a steep ecological gradient in lake whitefish [Article] // Journal of Evolutionary Biology. - 2009. - pp. 498-514.
- Vouga M** Première statistique de la pêche dans le lac de Neuchâtel [Revue]. - Bulletin suisse de pêche et de pisciculture : [s.n.], 1918.

7 Annexes :

7.1 Illustration cartographie 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)	5
Figure 2.2 : Positionnement géographique des 327 actions de pêche réalisées en simultané entre le 2 et le 14 octobre 2011 sur le lac de Neuchâtel.	5
Figure 3.1 : Evolution des teneurs en phosphore total dans le lac de Neuchâtel. (Données BENEFRI)	7
Figure 3.2 : Evolution de l'oxygénation des fonds du lac de Neuchâtel . (Données BENEFRI, 2012)	8
Figure 3.3 : Evolution de l'oxygénation des fonds du lac de Neuchâtel . (Données BENEFRI, 2012)	8
Figure 3.4 : Variété des habitats structurés du littoral du lac de Neuchâtel.....	9
Figure 3.5 : Extrait de la carte des habitats littoraux du lac de Neuchâtel (cf. annexe carte complète).....	9
Figure 3.6 : Degré artificialisation des rives du lac de Neuchâtel.....	10
Figure 3.7 : Différence de niveau d'eau du lac de Neuchâtel entre 1817 à 1822 exprimé en pouce (1 pouce =2.9 cm). Le niveau 0 est égale à la crue extrême de 1802 et le niveau -70 pouce, soit - 2.03 m est égale au niveau d'étiage fréquents entre 1817 et 22. (de Montmolin, 1835).....	11
Figure 3.8 : Différences de niveau d'eau du lac de Neuchâtel entre 2009 et 2011 (données OFEG)	11
Figure 3.9 : Illustration comparative des rotengles nord et sud (en haut), chevesne nord et sud (milieu) ainsi que loche franche (en bas à gauche) et loche de rivière du sud (en bas à droite) capturées dans le lac de Neuchâtel en 2011.	14
Figure 3.10 : Intervalle de confiance 5 et 95 % des captures par le protocole CEN.	15
Figure 3.11 : Illustration d'un omble chevalier capturé en 2011 par un pêcheur amateur sur le lac de Neuchâtel (Photo Quentin Jobin), comparée à celle historique de Kottelat & Freyhof (2007) et de celle échantillonnée dans le lac de Walen en 2011.	18
Figure 3.12 : Répartition verticale des captures tous protocoles filets confondus (CEN/Verti).....	20
Figure 3.13 : Transect d'échointégration nocturne réalisé perpendiculaire à la Motte.(donnée INRA, Colon & Guillard).	21
Figure 3.14 : Séquences d'échointégration de la couche supérieure. Parcours de nuit (33 transects, Données INRA Colon & Guillard).	22
Figure 3.15 : Séquences d'échointégration de la couche inférieure. Parcours de nuit (33 transects, donnée INRA, Colon & Guillard).....	22

Figure 3.16 : Répartition géographique des captures de corégones (Verti/CEN).....	23
Figure 3.17 : Répartition géographique des captures benthiques de gardon et de rotengle (sud & nord) (CEN).	24
Figure 3.18 : Répartition géographique des captures benthiques de perche (CEN).	25
Figure 3.19 : Proportion de perche de plus de 12 cm parasitée capturée (tout protocole°: Verti/CEN/Elec).....	25
Figure 3.20 : Illustration des différents degré de contamination des perches (tout protocole°: Verti/CEN/Elec).	26
Figure 3.21 : Répartition des captures par type d’habitats littoraux. (méthode filets verticaux littoraux et pêche électrique)	27
Figure 3.22 : Structure des populations comparés de quelques espèces les plus communes.....	28
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).....	29
Figure 3.24 : Statistique halieutique du Lac de Neuchatel en 2011. (données Cantons de Vaud , Neuchâtel et Fribourg)	30
Figure 3.25 : Statistiques halieutiques comparées des lacs entièrement sur territoire suisse en 2008. Cumul captures de perche, sandre, brochet, silure, truite et corégone (Données Cantons & OFEV).	30
Figure 3.26 : Evolution des statistiques halieutiques (pêche de loisir et professionnelle cumulée) du Lac de Neuchâtel (données Cantons de Neuchâtel/Fribourg/Vaud & Liechti, 1994).	31
Figure 3.27 : Evolution de la récolte des salmonidés et de la perche du Lac de Neuchâtel (données Cantons de Neuchâtel/Fribourg/Vaud).....	32
Figure 3.28 : 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 Canton de Neuchâtel, Fribourg, Vaud)	33
Figure 3.29 : Taille des individus capturés en fonction des mailles de filets verticaux et CEN posés en 2011.	34
Figure 3.30 : Estimation des proportions relatives de chaque classe de taille pour chaque espèce en 2010 déterminée à partir des pêches aux filets CEN et verticaux.....	35
Figure 4.1 : Image du rivage de la Béroche au début du 20ème siècle, montrant l'importance des variations de niveaux d'eau et la dominance minéral de la grève. (tiré de (Vauthier, 1996)).....	38
Figure 5.1 : Gradient de taille de captures pour chaque maille de filet calculé pour la perche.	41

7.3 Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Individus capturés par les trois protocoles appliqués durant la semaine du 2 au 14 octobre 2011 sur le lac de Neuchâtel.....	13
Tableau 3.2 : Liste des espèces collectionnées par le Musée d'histoire naturel de Bern.	15
Tableau 3.3 : Diversité piscicole décrite sur le lac de Neuchâtel (Agassiz, 1835)(Du Plessis G., 1868)(Musy, 1880)(Mauvais, 1930) (Vouga 1930)(Quartier, 1955)(Vauthier, 1996)(Pedroli, et al., 1991)(BAFU, 2003).....	16