

Diagnose piscicole du lac de Chalain

Avril 2013



PARTENAIRES FINANCIERS :



Diagnose piscicole du lac de Chalain

Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Mehdi EL BETTAH	Jean-Baptiste FAGOT (rédacteur et rapporteur)
Thomas GROUBATCH	Philippe MOUGIN
Stéphane PIZZETTI	Nadège POMMIER
Valéry RECOUVREUX	Serge REGAD

Fédération du Doubs pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

Jean-Sébastien BROCARD	Alexandre CHEVAL
Thomas PERRINE	Christian ROSSIGNON

EAWAG

Guy PÉRIAT	Pascal VONLANTHEN
------------	-------------------

Bureau d'études Téléos

François DEGIORGI	Hervé DECOURCIÈRE
Michaël GOGUILLY	

ONEMA

Manuel BARBIER	Anne-Laure BORDERELLE
Philippe CHANTELOUBE	Pascal COMPAGNAT
Guy DURAND	Jean-Louis GAROT
Eric MOREAU	Jean-Claude RAYMOND
Bernard VIGNON	Emmanuel VILQUIN

Un grand remerciement aux bénévoles des AAPPMA qui ont donné de leur temps et de leur énergie afin que cette étude puisse être menée à bien, ainsi qu'à EDF pour nous avoir fourni les données des cotes du lac en 2010 et 2011.

Sommaire

Sommaire	3
Liste des abréviations	4
1. Présentation de l'étude	5
1.1 Contexte	5
1.2 L'étude	6
2. Méthodologie.....	7
2.1 Synthèse de données historiques.....	7
2.2 Cartographie des habitats.....	7
2.3 Mesures physico-chimiques.....	8
2.4 Inventaires piscicoles.....	8
2.5 Traitement des données et synthèse	10
3. Résultats.....	11
3.1 Hydrologie et morphologie	11
3.2 Physico-chimie	19
3.3 Peuplements piscicoles	32
3.3.1 Biodiversité	33
3.3.2 Nombre d'individus	33
3.3.3 Biomasse.....	34
3.3.4 CPUE	36
3.3.5 Répartition verticale des captures	37
3.3.6 Utilisation des habitats.....	38
3.3.7 Gestion halieutique	39
3.3.8 Comparaisons avec d'autres lacs	41
3.3.9 Comparaison historique	43
3.3.10 Analyse de la campagne hivernale concernant les corégones.....	45
4. Synthèse	47
5. Perspectives.....	48
5.1 Éléments de compréhension.....	48
5.2 Éléments d'action et/ou de restauration.....	49
5.3 Programme d'action	52
6. Bibliographie.....	54
Annexes.....	58

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en Eau Potable

AERMC : Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse

CEN : Comité Européen de Normalisation, appellation au protocole standard européen

CPUE : Capture Par Unité d'Effort

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DDT : Direction Départementale des Territoires

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EAWAG : Institut fédéral Suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux « Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz »

FV : protocole « Filets Verticaux »

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

1. Présentation de l'étude

1.1 Contexte

Selon le code de l'environnement, les Fédérations de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique sont chargées de mettre en place un plan de gestion pour les eaux dont elles ont la charge en contre partie du droit de pêche. L'objectif est d'assurer une gestion durable de l'exploitation des milieux aquatiques, afin notamment de préserver leur biodiversité, conformément aux directives européennes et à la législation nationale en la matière.

Pour ce faire, une connaissance approfondie de l'état de conservation du patrimoine aquatique est indispensable. Il convient en effet de séparer les secteurs non perturbés, pour lesquels une conservation s'impose, des zones dégradées à restaurer.

Pour les eaux courantes, de nombreux outils administratifs parallèles (Contrat de rivière, SDAGE, programme européens Natura 2000/ LIFE,...) contribuent à atteindre ces objectifs. Les exemples régionaux sont légion, ce qui réjouit nos Fédérations locales : contrat de rivière Ognon, Dessoubre, Orain, Bienne, Projet LIFE Drugeon, ou encore tête de bassin et faune associée.

En revanche, alors que leur intérêt halieutique est hautement prisé, force est de constater que les plans d'eau restent plus que jamais le parent pauvre de la politique régionale en matière de protection de l'environnement aquatique. Si leur qualité d'eau est largement suivie dans le cadre de l'alimentation en eau potable, il n'en va pas de même de leur communauté biologique ni de leur qualité habitationale. Seules quelques mesures ponctuelles, pour l'essentiel issu des travaux de l'Université de Besançon ou de l'ONEMA, sont disponibles. Elles ne suffisent malheureusement pas à inscrire au plan de gestion un panel d'actions efficaces visant la sauvegarde et l'exploitation durable des eaux stagnantes de la montagne jurassienne.

A noter également que l'application de la Directives Cadre Européennes (DCE) sur les plans d'eau supérieurs à 50 ha ne permettra vraisemblablement pas non plus d'émettre des propositions objectives pouvant être mises en oeuvre par les Fédérations de Pêche dans le cadre d'un plan de gestion. En effet, à titre d'exemple pour les poissons, le protocole CEN choisi ne tient compte ni des habitats en présence ni de leur état de conservation. Les données lacs issues de la DCE sont donc pour l'essentiel purement descriptives et ne permettront pas d'élucider les causes des dysfonctionnements et donc de proposer des solutions concrètes de réhabilitation.

Ainsi, afin de profiter d'une manière optimale des informations issues de la DCE, d'étendre cet état des lieux aux plans d'eau inférieurs à 50 ha dont le droit de pêche est accordé aux Fédérations de Pêche du Doubs et du Jura et de répondre de par la même aux exigences du code de l'environnement tout en promouvant le loisir pêche, les deux Fédérations précédemment citées ont décidé dans le cadre du renouvellement en cours des plans de gestion piscicole de s'associer et de s'intéresser activement aux 9 lacs naturels les plus importants de Franche-Comté :

- **Département du Jura : les lacs de Clairvaux, Ilay, Chalain, Bonlieu, des Rousses et du Val.**
- **Département du Doubs : Les lacs de Rémoray, Saint-Point et de l'Entonnoir.**

Le présent rapport concerne la diagnose piscicole du lac de Chalain.

1.2 L'étude

La présente étude se fixe deux objectifs principaux :

- Réaliser un diagnostic de l'état de conservation du patrimoine biologique piscicole du lac de Chalain. Ceci passe par
 - des mesures de la qualité habitationnelle,
 - une analyse bibliographique et des mesures physico-chimiques de la qualité de l'eau du lac,
 - des inventaires piscicoles complémentaires aux données obtenues dans le cadre de la DCE et de la littérature.
- Rédiger un document reprenant de manière synthétique les principales informations apportées et qui propose un panel de mesures concrètes et pragmatiques adaptées au lac de Chalain.

La réalisation de la phase de diagnostic, et notamment d'inventaire piscicole, a été organisée par les techniciens de la fédération de pêche du Jura, assistés sur le terrain de la Fédération de Pêche du Doubs. Ce travail d'échantillonnage s'est réalisé de manière simultanée au suivi piscicole réalisé dans le cadre de la DCE par l'ONEMA.

Cette réalisation a également été conduite avec le soutien en deuxième lieu de l'équipe responsable du « Projet lac » de l'EAWAG, renforcée par le bureau d'études Téléos. Dans le cadre de l'année internationale pour la biodiversité de 2010, cet institut national suisse de recherche en limnologie a lancé une étude internationale de grande envergure sur les caractéristiques des peuplements pisciaires lacustres. Ainsi, il a été possible de disposer d'importants moyens techniques et humains ainsi que d'une expérience et d'une vision à l'échelle européenne.

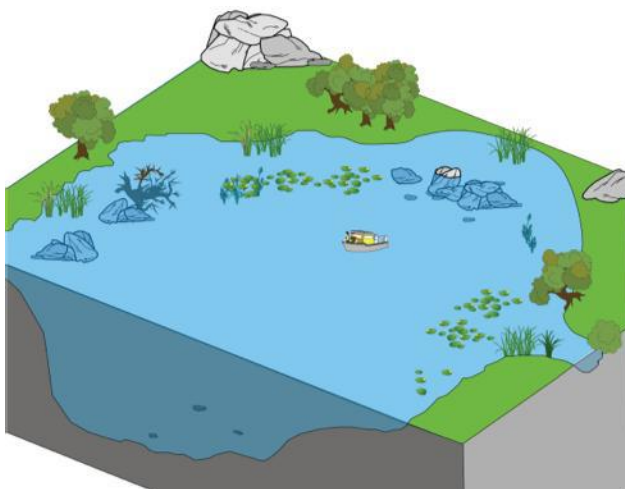
2. Méthodologie

2.1 Synthèse de données historiques

En premier lieu, un travail bibliographique a été réalisé afin de collecter le maximum de données pertinentes avec le sujet d'étude en question. Ces données sont donc principalement centrées sur les inventaires historiques des peuplements piscicoles, mais également sur les différentes campagnes d'analyses physico-chimiques disponibles, les données concernant les variations de niveau du lac et l'évolution de l'occupation des sols sur le pourtour du lac.

2.2 Cartographie des habitats

Il est nécessaire, afin d'interpréter de la manière la plus fine possible les résultats des inventaires piscicoles, de relier ces informations biologiques au biotope dans lequel les individus ont été capturés. Il est ainsi indispensable de réaliser en bateau une reconnaissance de la surface lacustre afin de dresser la mosaïque des pôles d'attraction piscicoles (couple substrat/support & hauteur d'eau) (Degiorgi et al., 2001). Celle-ci a été réalisée par l'ONEMA et l'EAWAG durant les semaines précédents l'échantillonnage. Cette phase est illustrée par la Figure 1.



Parcours de la surface lacustre avec un bateau

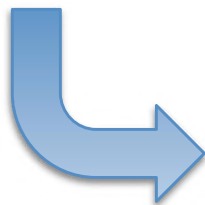
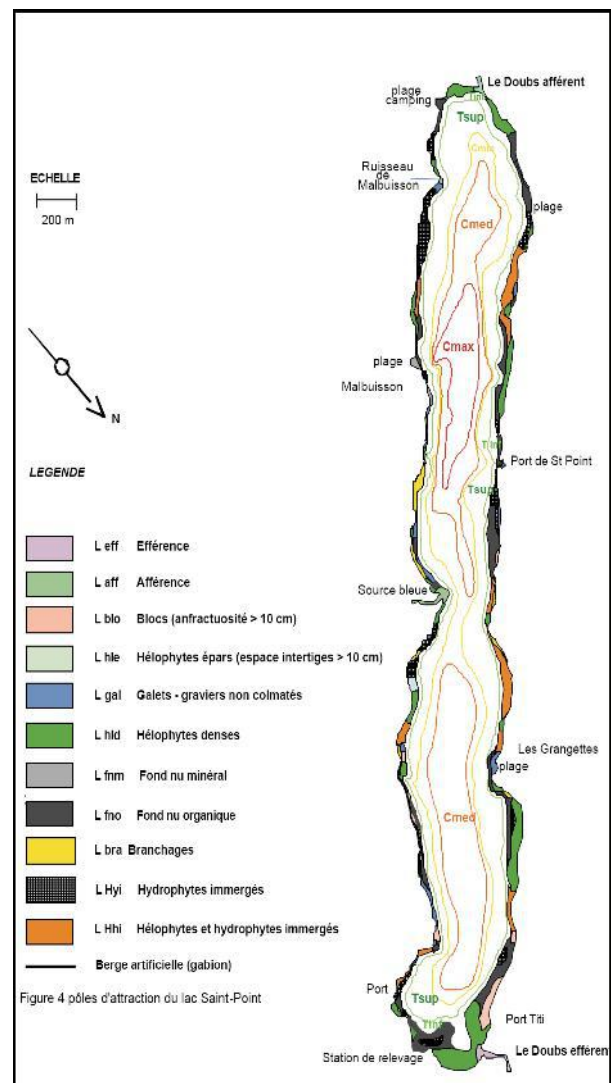


Figure 1 : cartographie des pôles d'attraction nécessaire à la définition de la stratégie d'échantillonnage et des compléments des mesures de terrain. Source : Michaël Goguilly



2.3 Mesures physico-chimiques

Afin de compléter ces différentes données historiques, il est nécessaire de réaliser une caractérisation de l'état physico-chimique des eaux. Il est effectivement indispensable de réaliser quelques mesures de manière simultanée à l'échantillonnage piscicole afin de savoir dans quelle phase de son cycle annuel le lac se situe.

Cette opération a été réalisée lors de la campagne de pêche principale et à plusieurs reprises au cours des semaines suivantes. Pour cela, une sonde multiparamètre a été utilisée, afin de caractériser à différentes profondeurs et au niveau du point de plus grande profondeur du lac la température de l'eau, sa teneur en oxygène dissous (concentration et saturation), sa conductivité, son pH et son potentiel redox.

Afin de connaître également les conditions nutritives de l'eau (phosphore, différentes formes azotées et chlorophylles notamment), deux analyses physico-chimiques de l'eau ont été demandées au LDA39, l'une concernant un prélèvement intégré d'eau dans la zone euphotique (2,5 fois la transparence évaluée au disque de Secchi) et l'autre concernant un prélèvement d'eau du fond au niveau de la plus grande profondeur. Les paramètres suivants sont analysés et quantifiés : DBO5, PO_4^{3-} , P_{tot} , NH_4^+ , NKJ, NO_3^- , NO_2^- , COT, COD, MEST, Turbidité, Silice dissoute, chlorophylle a et phéopigments.

Enfin, un suivi de la température de l'eau du lac a été réalisé au cours du deuxième semestre 2011 grâce à la mise en place d'une sonde enregistreuse automatique. Celle-ci était située après le ponton de la FOLJ, entre 3 et 4 mètres sous la surface de l'eau.

2.4 Inventaires piscicoles

Les protocoles utilisés correspondent à ceux mis en œuvre en 2003 (CSP, 2004) (Colon et Guillard, 2004) (Dahlberg, 2004), soit le protocole dit « filets verticaux » ou FV (Degiorgi et al., 1993), et le protocole nordique en vigueur en Europe selon la DCE et dit « protocole CEN » (AFNOR, 2005). Des pêches à l'électricité des habitats de bordure accompagnent enfin ces deux protocoles. L'uniformité, la robustesse et la reproductibilité des résultats doivent être assurées par le respect strict des protocoles proposés. En particulier, l'objectif recherché est l'obtention d'une image reproductible et standardisée des peuplements, toutes espèces confondues. Parmi les trois protocoles utilisés, c'est le protocole « filets verticaux » qui cherche à obtenir l'image la plus fidèle du peuplement piscicole en place.

Echantillonnage piscicole estival hors période de reproduction :

Idéalement, 2 à 4 campagnes d'inventaire par lac devraient être réalisées pour suivre l'évolution des peuplements au fil des saisons. Toutefois, les coûts et la lourdeur de la mise en place d'un tel dispositif d'échantillonnage sont trop élevés. C'est pourquoi l'inventaire complet de l'ichtyofaune lacustre a été limité à une seule campagne, réalisée préférentiellement en fin de stratification estivale et hors période de reproduction. En effet, en été et au début de l'automne, l'activité de l'ichtyofaune bat son plein. L'ensemble des espèces présentes est donc susceptible d'être capturé par les techniques passives des filets maillants. En outre, cette période correspond à la phase critique de survie de l'ichtyofaune en cas de dysfonctionnement lacustre. Cet élément sera primordial dans le cadre de la diagnose écologique des lacs échantillonnés.

Ainsi, trois protocoles d'échantillonnage piscicole sont à mener en simultanée (Figure 2) :

- Deux à filets multi-maille : le protocole DCE/CEN ainsi que le protocole dit des filets verticaux. A noter qu'une coordination d'intervention avec la brigade de l'ONEMA a été effective et que celle-ci s'est occupée de la mise en place du protocole DCE et la cartographie des habitats comme cité précédemment.
- Un par pêche électrique de bordure : pour la zone de profondeur inférieure à 1 m non prospectable au filet des pêches électrique par ambiance et application du protocole dit ECD seront réalisées.

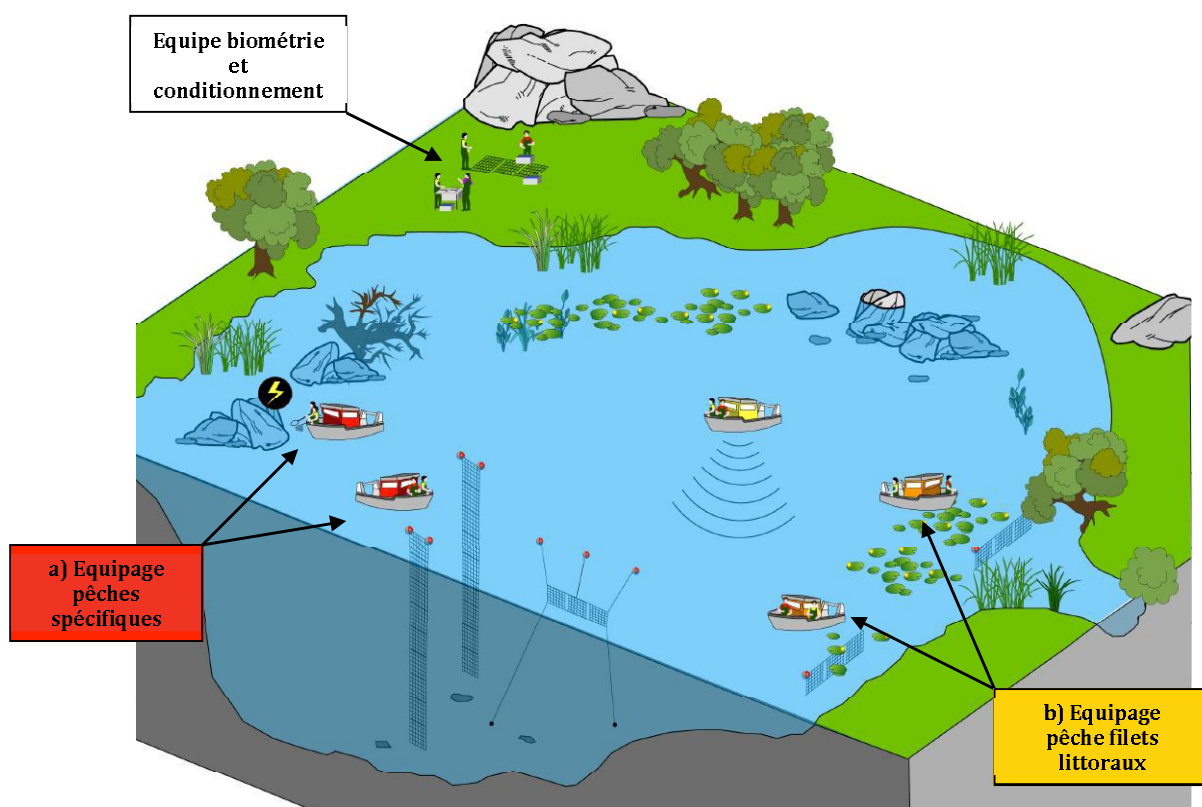


Figure 2 : échantillonnage piscicole estival, hors période de reproduction. Source : Michaël Goguilly

Dans les faits et par temps calme, trois bateaux sont intervenus conformément à la stratégie d'échantillonnage prédéfinie d'une manière coordonnée :

- Un bateau adapté et spécialement équipé pour la pose de filet en grande profondeur.
- Deux bateaux, adaptés pour la pose de filet de fonds (araignée multi-maille) et la pêche électrique embarquée servent à prospecter les zones littorales.

La pose des filets s'effectue en fin de journée et la relève à l'aube. A terre, une équipe rodée pour la biométrie, l'étiquetage et le conditionnement des échantillons est à pied d'oeuvre dès que les premières captures sont rapatriées.

Echantillonnage en période de reproduction des genres *Coregonus* :

Indépendamment de la campagne d'inventaire global, des campagnes d'échantillonnage spécifiques sur les lieux de reproduction des corégones sont réalisées. A l'image des travaux effectués par l'EAWAG sur le Lac de Neuchâtel et des Quatre-Cantons (Suisse) ces dernières années, une série de filets multimailles est déposée perpendiculairement à un gradient de profondeur comme présenté sur la Figure 3. L'emplacement du gradient, le nombre de filet, leur espacement et les périodes d'interventions sont définis avec les acteurs locaux.

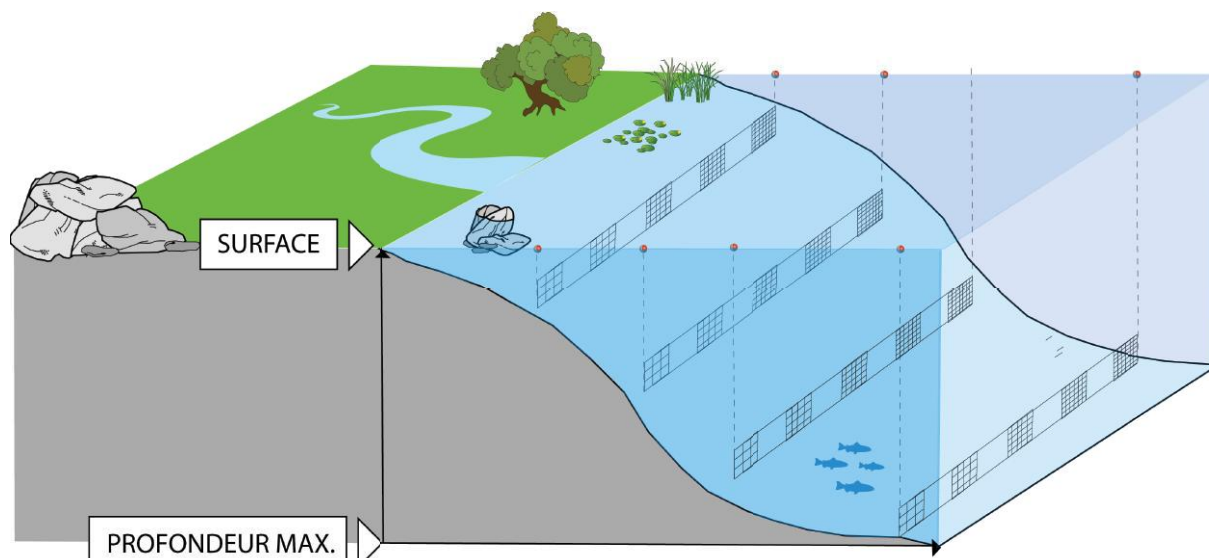


Figure 3 : échantillonnage en période de reproduction des genres *Coregonus*. Source : Michaël Goguilly

2.5 Traitement des données et synthèse

Une base de données commune a été établie et regroupe les informations sur tous les résultats et échantillons prélevés.

Le Musée d'histoire naturelle de Berne constitue la collection de référence jusqu'à concurrence de 30 individus par espèce du lac de Chalain. Les captures complémentaires serviront aux différents instituts à développer leurs recherches.

3. Résultats

3.1 Hydrologie et morphologie

Le lac de Chalain est un lac dont la superficie est d'environ 232 hectares. Ses longueurs et largeurs maximales sont respectivement de 2,7 et 1,1 km, pour une altitude proche de 490 mètres (Verneaux, Verneaux, et Guyard, 1993). La Figure 4 montre la carte bathymétrique du lac de Chalain. Il est orienté Est-Ouest et il est entouré de montagnes boisées, sauf sur sa partie Ouest. Les rives sont très abruptes, encore une fois à l'exception de la partie Ouest, en pente douce. On peut observer que la profondeur maximale est de 34 mètres, avec une surface centrale de cuvette assez importante dont la profondeur est inférieure à 30 mètres.

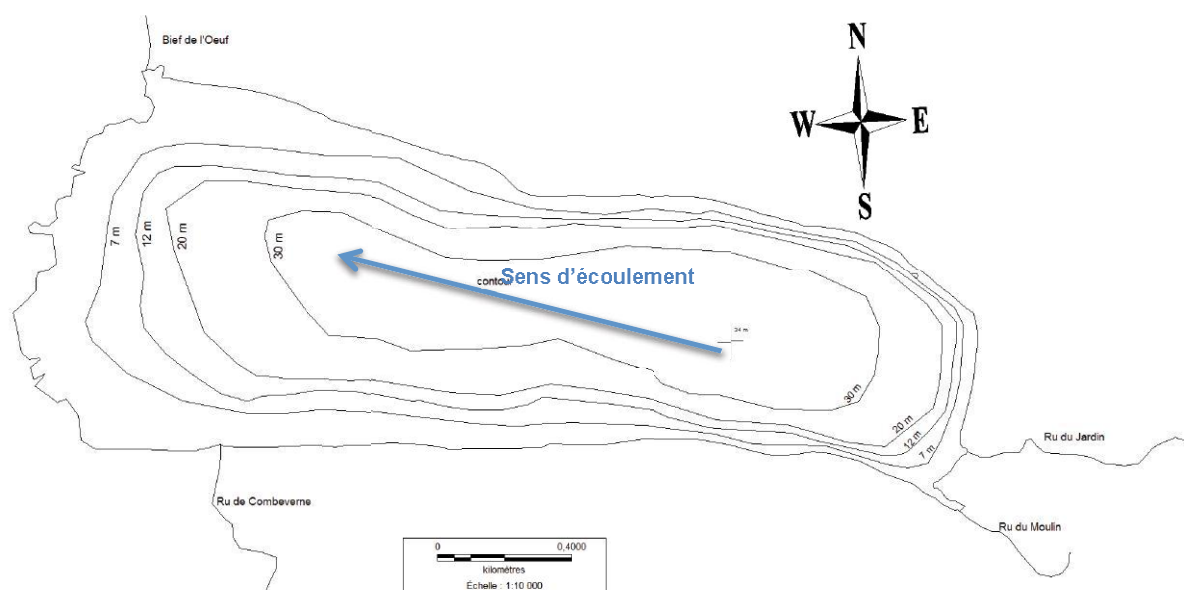
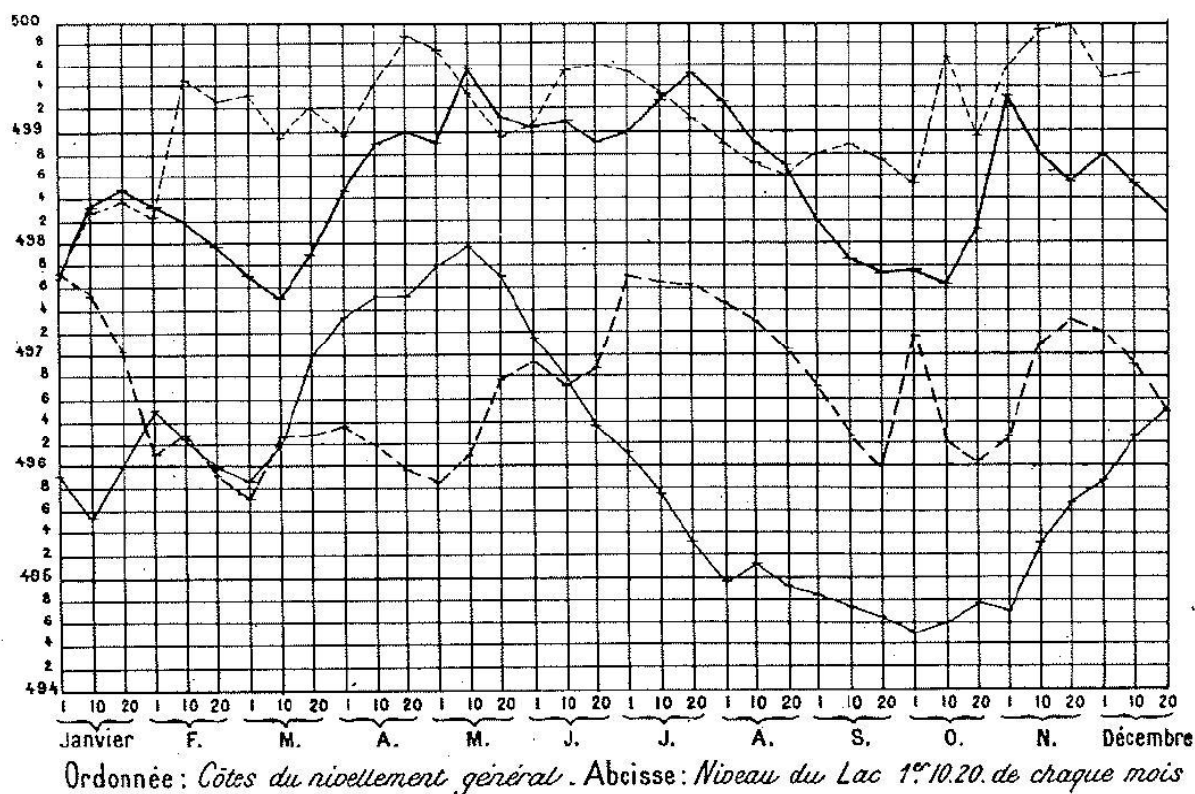


Figure 4 : carte bathymétrique du lac de Chalain

Deux afférences principales alimentent le lac, les Rus du Moulin et du Jardin. Le lac se vide naturellement par le Bief de l'Œuf, affluent rive gauche de l'Ain au niveau de Marigny. Les eaux issues du lac sont en grande partie utilisées par EDF à des fins hydroélectriques. Les premiers aménagements allant dans ce sens datent de 1903 à 1906 pour une mise en service en 1912 (Poupard, 2008). Pour cela, les eaux sont dérivées au moyen d'une prise d'eau située sur le lac de Chalain, puis sont ensuite restituées à la rivière d'Ain. Le niveau du lac de Chalain est donc régi par l'utilisation hydroélectrique qui est faite de ses eaux.

D'un point de vue historique, les écrits de (Kreitmann, 1937) permettent d'avoir une description assez précise du mode de gestion du début du siècle. Ainsi, l'auteur relève en premier lieu que la réalisation des travaux d'installation de la première usine ont engendré une baisse brusque du niveau de six mètres, et qu'il en a résulté « des effondrements en plusieurs points de la côte ». Il indique ensuite que les « usagers industriels du lac gardent la possibilité d'abaisser de 10 mètres le niveau ». Il donne enfin les relevés du niveau du lac durant les années 1932 à 1935, visibles dans la Figure 5.

*Variations de niveau du Lac de Chalain pendant
les années: 1932 — 1933 — 1934 — 1935*



Côte du déversoir du barrage de l'Œuf: 499,60

Figure 5 : variations du niveau du lac de Chalain pendant les années 1932 à 1935. Source : Kreitmann, 1937

On note ainsi sur la Figure 5 que les amplitudes annuelles sont de 2,08 mètres en 1932, 1,72 en 1933, 3,44 en 1934 et 2,32 en 1935 avec des également des plages de variation ne se chevauchant parfois que très peu.

La gestion du niveau fait aujourd'hui l'objet d'une réglementation, incluse dans le « Règlement d'eau pour l'usine hydroélectrique dénommée chute de l'Ain sur la Rivière l'Œuf à Marigny » et établi par l'arrêté préfectoral n°1505 du 11 décembre 1995 (Préfecture du Jura, 1995). Une convention réglementant le fonctionnement du marnage du lac a également été signée entre EDF et le Département du Jura le 6 décembre 1960, modifiée par un avenant le 26 février 1991 (Plivard et Guichard, 1991).

Les variations du niveau d'eau au cours des années 2010 et 2011 sont visibles sur la Figure 6. Les données brutes sont visibles en Annexe 1 et en Annexe 2.

Il faut souligner l'importante différence entre la cote légale de surverse de l'arrêté préfectoral actuellement en vigueur, soit 489,06 NGF et les cotes de 500 relevées par Kreitmann et visibles sur la Figure 5. Deux causes peuvent expliquer ce différentiel sans qu'il soit possible de trancher entre les deux sans éléments complémentaires : soit les cotes citées par Kreitmann sont établies sur une base altitudinale différente de NGF, soit la cote de déversement a été modifiée de plus de 10 mètres ce qui semble très important. Cette dernière hypothèse semble peu probable sur un tel différentiel. L'explication la plus probable semble être une combinaison d'une modification du seuil

et l'utilisation d'un système altitudinal différent entre les deux époques. Ce point est en partie confirmé par la première version de la convention signée entre le Département du Jura et EDF le 6 décembre 1960 : il y est fait mention que la cote dite dans les accords préalables 501,50 correspond à la cote 490,79 NGF. Cela ne change toutefois en rien l'amplitude des variations relevées par Kreitmann.

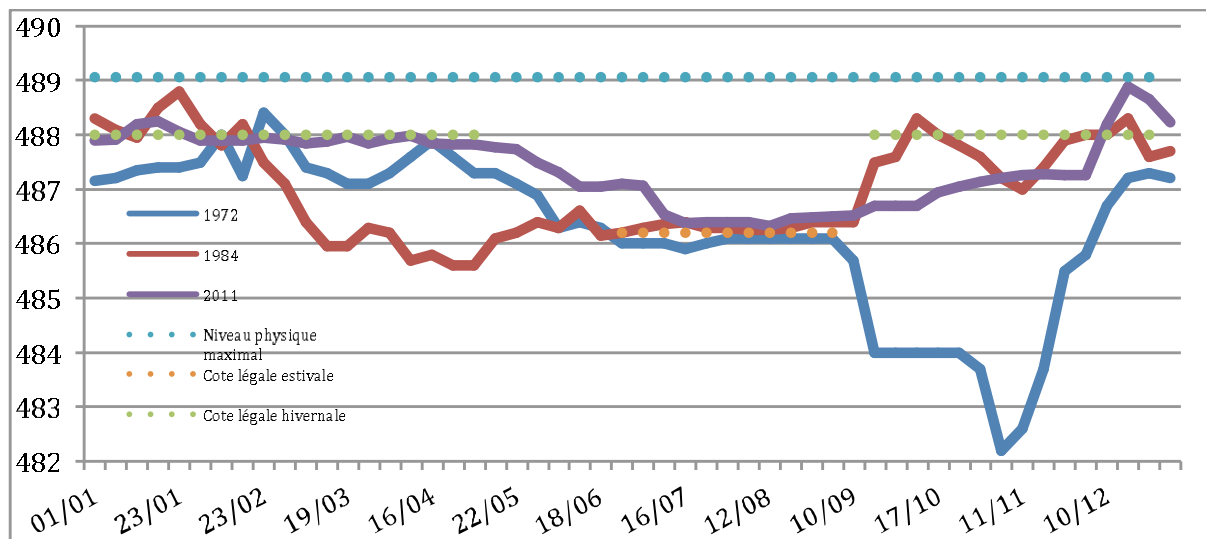


Figure 6 : cotes moyennes journalières du lac de Chalain au cours des années 1972, 1984, 2010 et 2011, en parallèle des cotes réglementaires fixées par l'arrêté préfectoral n°1505 du 11 décembre 1995 relatif aux cotes légales d'exploitation des eaux du lac. Source des données : EDF

L'analyse statistique des données visibles sur la Figure 6 met en évidence différents résultats intéressants. Comme on peut le voir dans le Tableau 1, pour 2010 et 2011, 152 et 115 valeurs moyennes journalières sont inférieures aux valeurs seuils fixées par l'arrêté préfectoral soit 61 % et 46 % des valeurs hors périodes légales de variation. Ceci correspond à une fréquence très importante. On peut voir que ces écarts inférieurs au niveau d'eau légal sont en moyenne et respectivement pour 2010 et 2011, de 8 et de 13 cm, avec des écarts maximaux respectifs de 16 et de 25 cm.

La période située de la mi-avril au 20 mai, présente globalement des écarts marqués et de plus en plus importants avec le niveau légal, notamment en 2011, anticipant ainsi la date du 20 mai, début de la bascule vers le niveau estival.

Ce constat est très préjudiciable, notamment parce qu'il se situe durant la période de ponte de différentes espèces piscicoles telles que la perche, le brochet et le gardon (Keith et al., 2011) (Bruslé, Quignard, et Imbert, 2001) (Gillet, 2001). Leur reproduction sera d'autant plus favorisée que les habitats rivulaires sont ennoyés par des niveaux hauts. Ainsi, le contrôle du niveau devrait globalement s'effectuer « au-delà » et non « en-deçà » de la limite légale.

Tableau 1 : état des niveaux du lac de Chalain inférieurs aux seuils réglementaires

Année	Moyennes journalières inférieures au seuil légal		Vitesse de variation (mètre/jour)	
	2010	2011	2010	2011
Nombre	152	115	-	-
Moyenne	0,08	0,13	0,01	0,02
Maximum	0,16	0,25	0,12	0,15

On peut enfin voir dans le Tableau 1 que les vitesses de variation moyennes entre deux journées consécutives sont faibles, avec des valeurs respectives de 0,03 et 0,02 mètre par jour de variation respectivement en 2010 et 2011. Il faut toutefois noter l'amplitude maximale observée entre deux valeurs moyennes journalières, respectivement de 0,12 et de 0,15 mètre en 2010 et 2011. Ces valeurs sont moyennes (Hofmann, Lorke, et Peeters, 2008). Il faut toutefois espérer que cette variation ne s'effectue pas en un temps très court mais sur une plage horaire relativement longue, ce dont on ne peut juger ici. La Figure 7 permet de visualiser les principaux pôles d'attraction présents en 2003 et en 2011 sur les habitats de bordure du lac de Chalain.

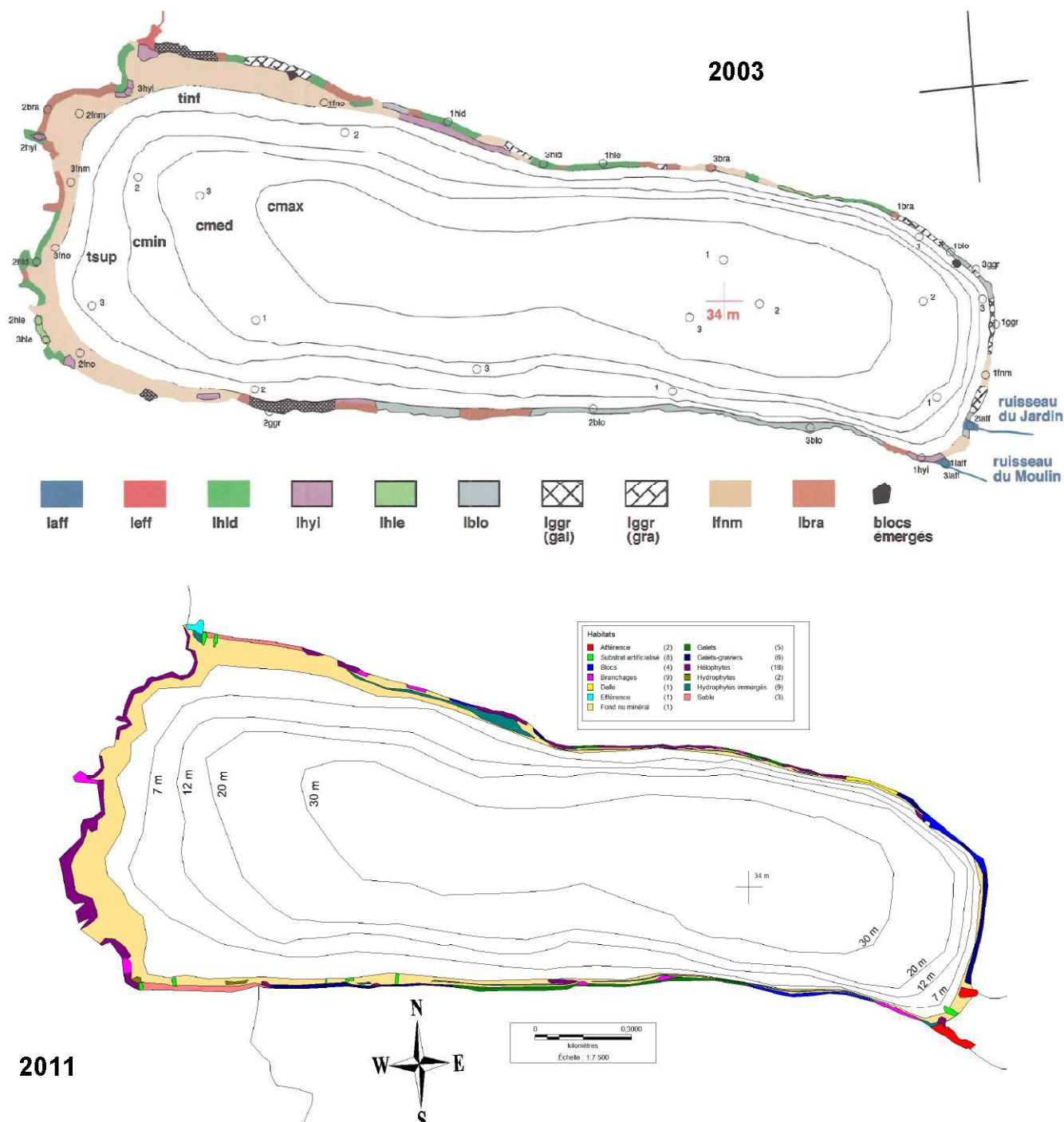


Figure 7 : cartographies des pôles d'attraction dominants sur le lac de Chalain – Octobre 2003 en haut et Septembre 2011 en bas

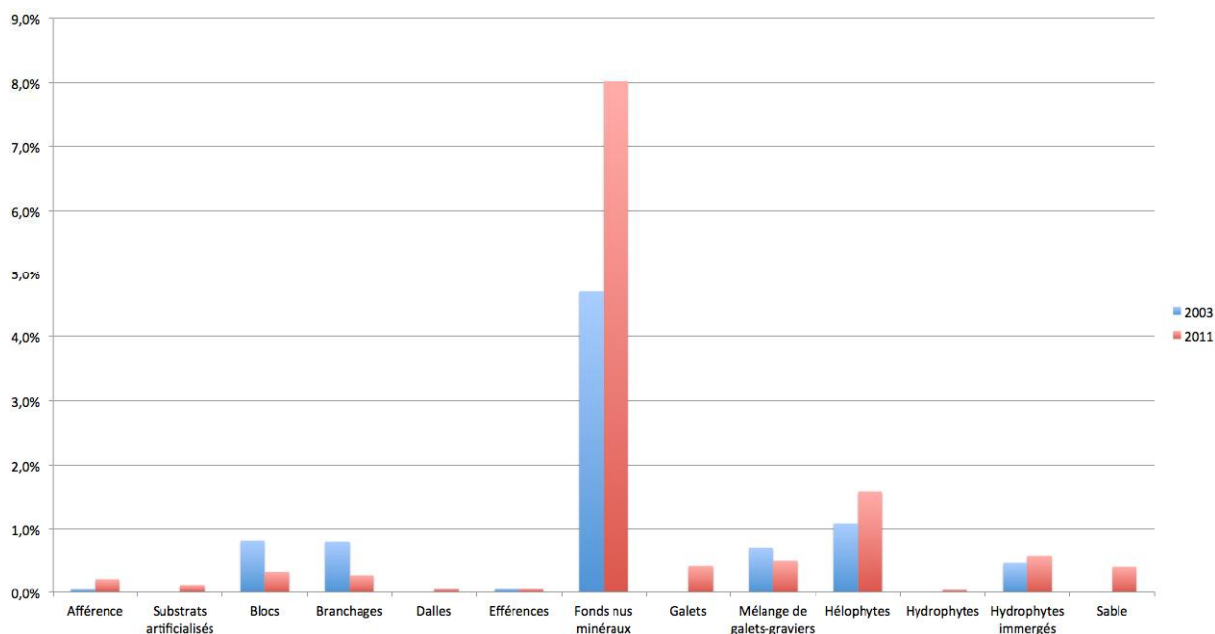


Figure 8 : évolution de la surface relative des différents habitats entre 2003 et 2011

On observe sur la Figure 8 qu'une importante surface présente un habitat de fonds nus minéraux, très peu biogènes et très peu attractifs pour la faune piscicole. Cette surface a nettement augmenté par rapport à 2003 (voir détail des valeurs en Annexe 4).

Les habitats plus biogènes tels que les branchages et les blocs sont en léger recul tandis que les galets, galets-graviers, sable et hélophytes, plus attractifs pour la faune piscicole en milieu lacustre et mieux échantillonnés au filet, sont en léger progrès.

On peut donc noter une faible évolution de la qualité de l'habitat du lac de Chalain entre 2003 et 2011 mis à part la progression des fonds nus minéraux, très peu attractifs. Toutefois, les éléments apportés par les données historiques telles que (Magnin, 1904) et (Kreitmann, 1937) apportent une perspective à beaucoup plus longue échéance. Magnin décrit antérieurement à 1900 la présence de ceintures végétales sur tout le pourtour du lac, avec une succession depuis la berge de zones à roseaux, à joncs, et enfin à nénuphars. En 1937, Kreitmann écrit « Que reste-t-il aujourd'hui de cette flore aquatique ? Rien ou presque rien ». Il ne décrit que quelques taches. Pour lui, « cette destruction est la conséquence immédiate des variations de niveau que subit le lac depuis son utilisation industrielle ».

Il est possible de voir sur la Figure 10 que la carte d'état major établie durant la période 1820-1866 fait état d'un large secteur humide sur la rive Ouest, allant largement au-delà de l'actuelle D27. Ce secteur fait aujourd'hui l'objet d'une exploitation agricole de fourrage. Seule quelques modestes habitations sont observables à l'époque en rive Est (voir Annexe 5). Le talus près des Marnes constitue un important secteur de frai du brochet (comm. pers. Emmanuel Vilquin) et présente régulièrement d'importants développements algaux.



Figure 10 : superposition de la carte d'état major (1820-1866) avec la vue aérienne actuelle. Source des données : Géoportail



Figure 9 : comparaison des abords du lac de Chalain entre 1951 et 2010. Source des données : IGN

On peut observer sur la Figure 9 la très importante évolution de trois secteurs de berges du lac, inoccupés en 1951 et ayant subi une forte anthropisation à partir des années 60 et 70.

Deux principaux obstacles infranchissables sont présents sur les principaux affluents du lac de Chalain que sont les ruisseaux de Fontenu et du Moulin. La Figure 13 permet de voir leur localisation ainsi que la nature de l'ouvrage. La buse présente sur le ruisseau du moulin est visible sur la Figure 11. Sont indiqués dans la convention signée entre EDF et le Département du Jura en 1960 (Plivard et Guichard, 1991) les éléments suivants : « EDF a remplacé à ses frais le pont existant sur le ruisseau du



Figure 11 : vue amont de la buse infranchissable présente à l'amont de la confluence entre le ruisseau du moulin et le lac de Chalain. Cliché : Serge Regad

Moulin et conduisant au domaine de Chalain, par une figure en terre, avec conduite intérieure. Cet ensemble, y compris les ouvrages de protection des berges, est remis en toute propriété au Département propriétaire du domaine, qui en assurera l'entretien et le renouvellement ». Le Département est propriétaire de cet ouvrage à aménager pour le rendre franchissable, tout en ayant délégué son entretien et sa gestion à la régie autonome de Chalain-Vouglans (comm. pers. Claire Renaud).

Le seuil présent sur le ruisseau de Fontenu semble également assez récent à la vue de la Figure 12. Il n'y avait à l'époque aucun problème de libre-circulation, situation qui est donc à rétablir aujourd'hui.



Figure 12 : vue de la confluence entre le ruisseau du Moulin et le lac de Chalain durant les années 60

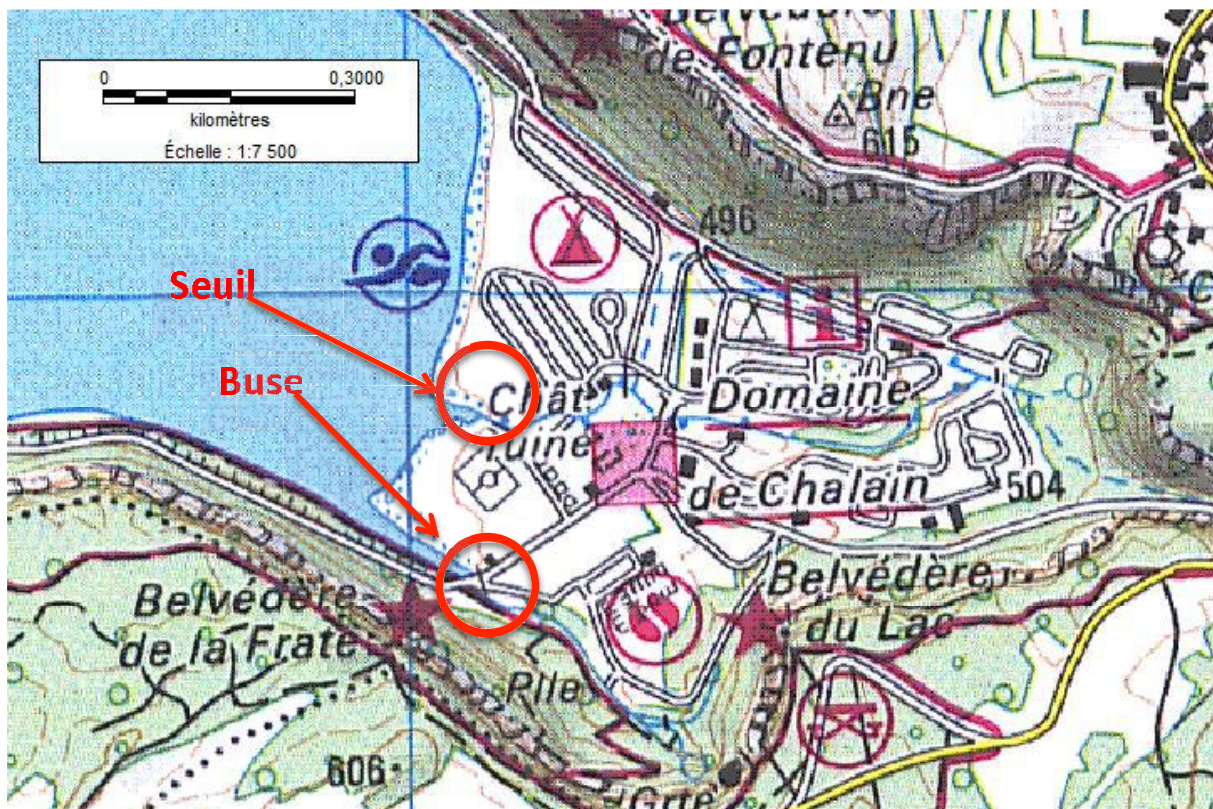


Figure 13 : localisation des principaux ouvrages infranchissables sur les affluents du lac de Chalain. Carte IGN



Figure 14 : vue du ruisseau de Fontenu, nettement sur-élargi et recalibré

La Figure 14 permet d'observer la morphologie nettement rectifiée et sur-élargie du ruisseau de Fontenu. Malgré cela, ces affluents possèdent de manière historique un important potentiel de reproduction, comme peut en attester l'«arrêté préfectoral réglementant les inventaires relatifs aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole prévus à l'article R 432-1-1 en application de l'article L 432-3 du Code de l'environnement» (Wilhelm, 2012) dans lequel figure le ruisseau du domaine et ses affluents.

En conclusion, les **peuplements végétaux** ont été très largement **dégradés au début du XX^{ème} siècle**, et ceci en conséquence de la gestion du niveau réalisée à des fins de production hydroélectrique. Ils n'ont jamais réussi à retrouver leur état historique. Durant la même période, l'utilisation faite des sols sur **le pourtour du lac a fortement évolué, réduisant fortement les habitats naturels favorables à la faune et à la flore et augmentant les apports nutritifs au lac au lieu de les épurer**. Cette **forte banalisation des habitats** s'ajoute à la **gestion qui est faite du niveau du lac qui n'est toujours pas optimale**. Enfin, la **continuité écologique entre le lac et ses affluents Est est très mauvaise pour l'un et inexistante pour l'autre**, ce qui constitue un point de blocage supplémentaire dans l'accomplissement complet du cycle biologique de la truite lacustre notamment.

3.2 Physico-chimie

Les données physico-chimiques collectées en 2011 vont maintenant être commentées et comparées à celles recueillies à la même période (fin septembre) lors des différents suivis disponibles.

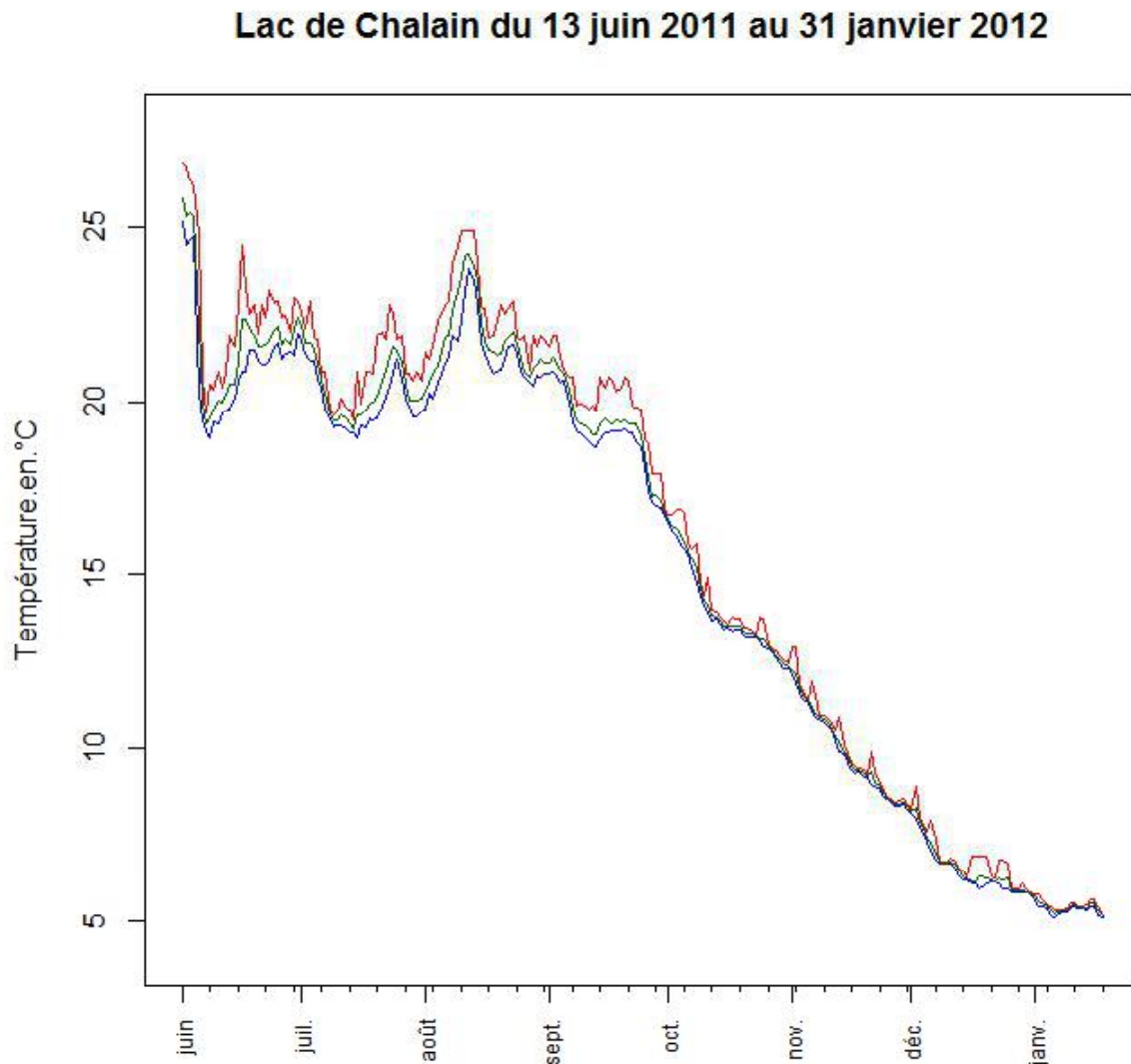


Figure 15 : moyennes, minimums et maximums journaliers de la température de l'eau à 3 mètres de profondeur au niveau du ponton de la FOLJ

On peut voir sur la Figure 15 que la température de l'eau du lac de Chalain au niveau du point de mesure présente une variabilité journalière très faible. Cette variabilité est néanmoins plus importante durant la période estivale qu'à l'automne, où elle est très réduite pour ne pas dire inexistante. La période chaude dure jusqu'à fin septembre, avec des valeurs globalement comprises entre 20 et 23°C, avec quelques pics à 25°C. Il s'ensuit une période de rapide et constant refroidissement, avec une réduction d'environ 15°C en 3 mois pour atteindre des valeurs moyennes de 5°C début janvier. Il est possible de dire que la bascule du lac s'est engagée courant octobre.

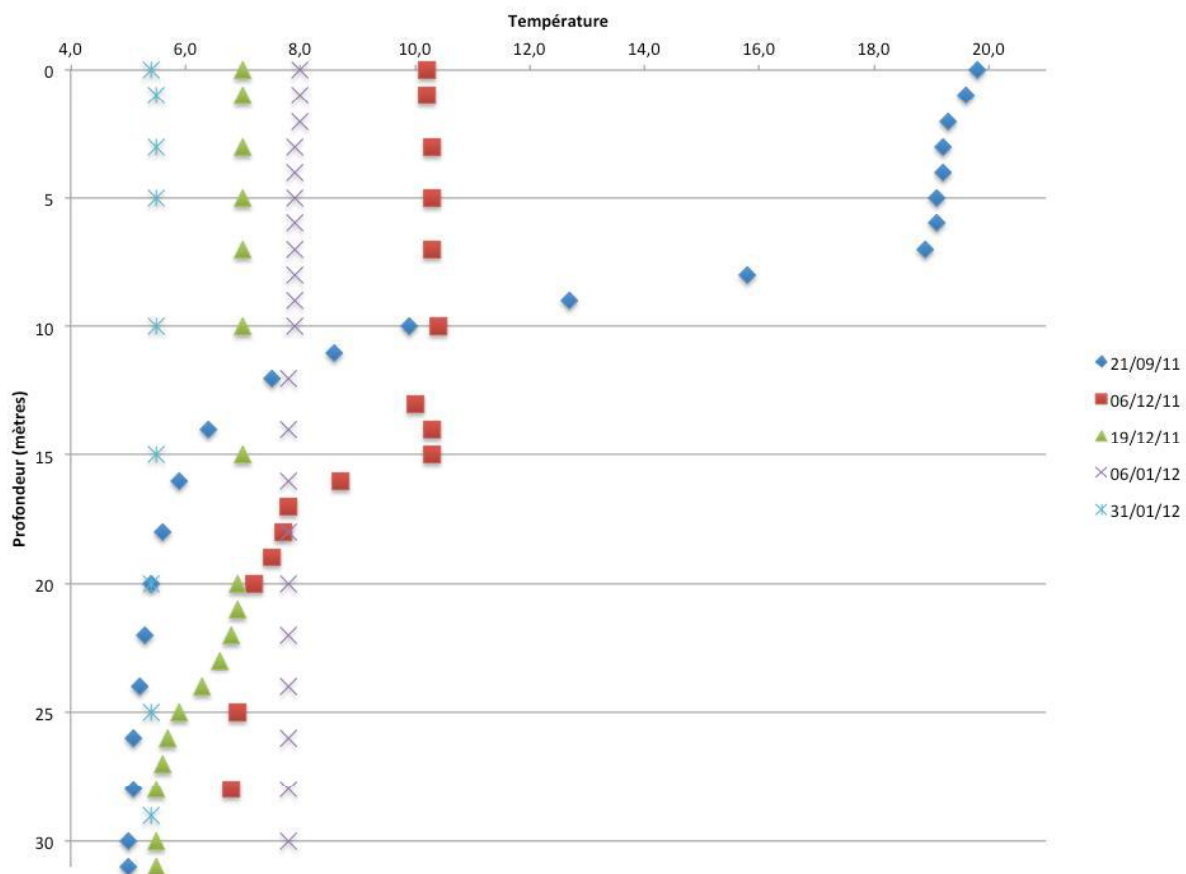


Figure 16 : profils verticaux de température réalisés sur le lac de Chalain entre septembre 2011 et janvier 2012

On peut observer sur le Figure 16 que la stratification thermique est nette le 21 septembre 2011, avec une thermocline située entre 7 et 12 mètres de profondeur. Ainsi, l'épilimnion estival fait environ 7 mètres de profondeur (Dussart et Fauré-Fremiet, 1992). Les profils verticaux réalisés le 6 et le 19 décembre montrent la fin du brassage, avec la présence d'une légère stratification. Ceux réalisés courant janvier 2012 font état d'un profil vertical de température homogène, sans stratification inverse.

Les données brutes de température figurent en Annexe 6.

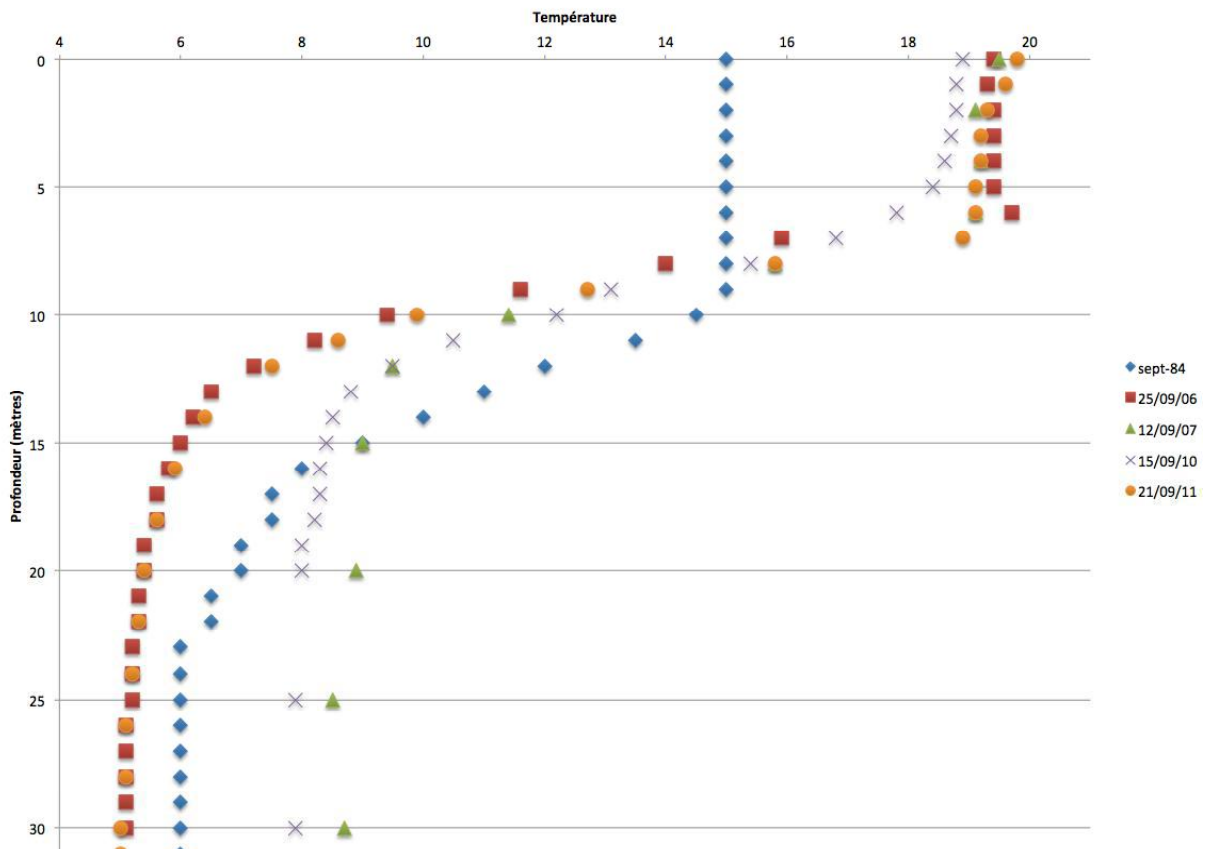


Figure 17 : comparaison avec les profils verticaux de température disponibles dans la littérature

Les différents profils verticaux de température visibles sur la Figure 17, et d'autres paramètres sur les figures suivantes, sont issues de données bibliographiques tirées de (SRAE de Franche-Comté, 1986) (Colon et Guillard, 2004) (NBCE, 2008) (Bureau d'études S.T.E., 2008) (Bureau d'études S.T.E., 2011). On observe sur la Figure 17 que les profils des années 2006 et 2011 sont très proches, avec une différence de 4 jours dans les dates de mesures. Les profils de 2007 et 2010 sont également assez voisins jusqu'à 11 mètres de profondeur. Il apparaît ensuite que la température en profondeur de ces deux années est supérieure de plusieurs degrés par rapport aux autres années, avec une date de mesure plus précoce de 10 jours environ. Le profil datant de septembre 1984 montre que la température de surface est nettement plus fraîche que les années suivantes, et les températures de fond légèrement plus élevées. On peut donc supposer soit une année plus fraîche, soit que la bascule du lac était déjà en cours.

Ces constats permettent donc d'affirmer que le lac de Chalain était dans un état de stratification thermique très proche de celui dans lequel il était lors des différentes mesures historiques réalisées.

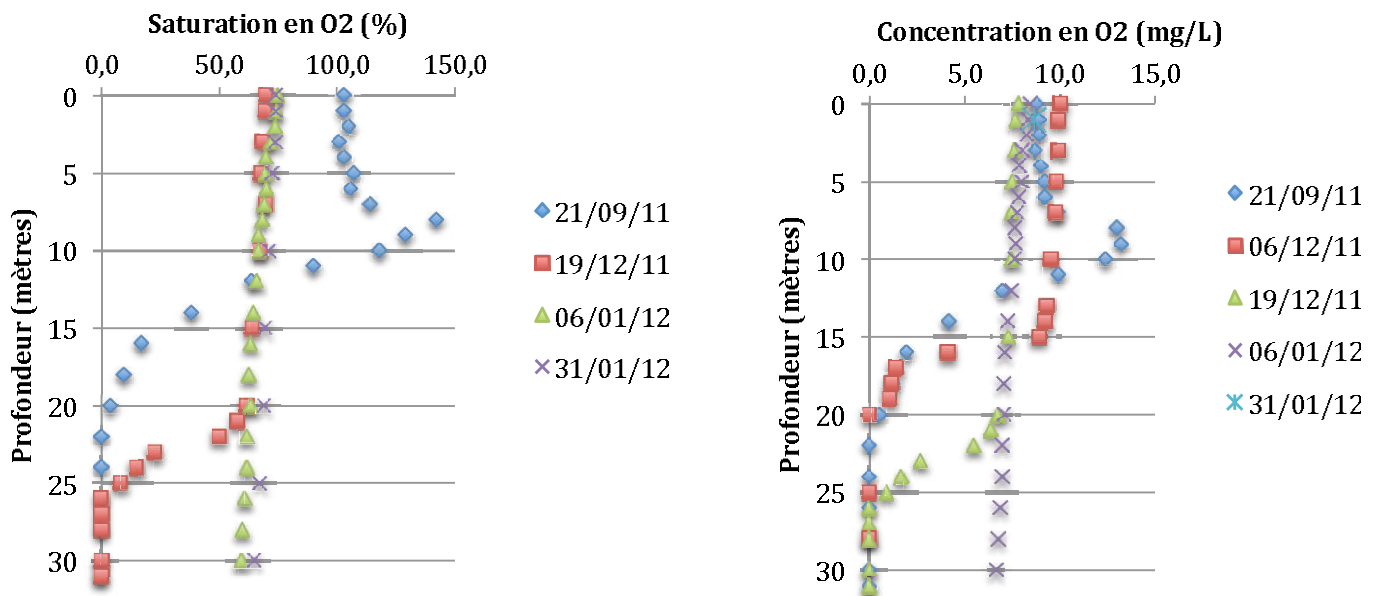


Figure 18 : profils verticaux des concentrations et saturations en oxygène lors des suivis réalisés durant cette étude

Il est possible de noter sur la Figure 18 deux points essentiels (les valeurs brutes sont en Annexe 7).

Le premier consiste en la très nette sursaturation visible au niveau du métalimnion. On peut lire dans l'Annexe 7 une valeur de saturation de 142 % à 8 mètres de profondeur, avec encore 129 % à 9 mètres et 118 % à 10 mètres. Cette nette sursaturation s'explique certainement par une très forte production photosynthétique d'oxygène durant la journée. Ce point est la conséquence de forts développements végétaux dans la zone trophogène du lac, dont l'origine peut éventuellement s'expliquer par des apports en nutriments trop importants. Ceci a également pour conséquence probable une forte désaturation nocturne.

Le deuxième constat important à réaliser sur la Figure 18 est la **très nette désoxygénation visible à partir de 15 mètres de profondeur en septembre 2011, avec une anoxie complète à partir de 21 mètres**, soit sur une hauteur d'eau supérieure au quart de la profondeur du lac. Ce fort déficit en oxygène s'explique par sa très forte consommation par la dégradation bactérienne de la matière organique présente au fond du lac, issue des apports autochtones comme allochtones. On observe encore une complète anoxie à partir de 25 mètres de profondeur fin décembre, ce qui montre la durée nécessaire à la réoxygénation partielle (60%) de la colonne d'eau, qui n'est effective qu'à partir du mois de janvier, alors que la bascule du lac est engagée depuis plusieurs mois.

Il apparaît donc un net dysfonctionnement du cycle de l'oxygène au cours du suivi réalisé à la fin de l'année 2011.

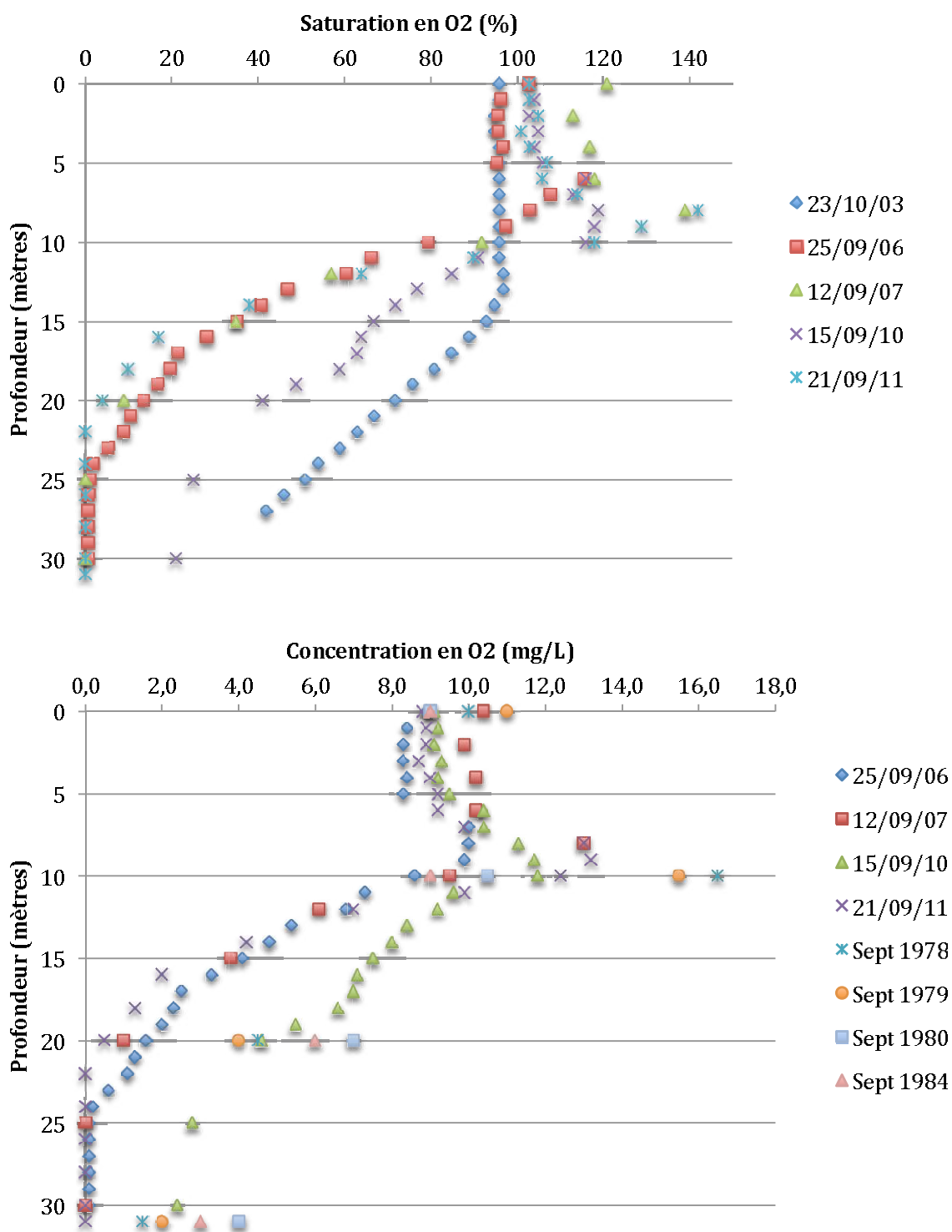


Figure 19 : profils verticaux des concentrations et saturations en oxygène lors des suivis réalisés en période automnale, antérieure à la bascule du lac de Chalain

La Figure 19 présente les profils verticaux d'oxygénation disponibles dans la littérature pour une époque semblable, précédents la bascule automnale. Les profils de 2006, 2007 et 2011 sont semblables dans leur globalité, avec une anoxie à la plus grande profondeur. Toutefois, un point essentiel est la tendance à la remontée de la limite supérieure de l'anoxie. Ainsi, à 20 mètres de profondeur, on peut voir en Annexe 7 que les saturations/concentrations sont respectivement de plus en plus faibles pour les années 2006, 2007 et 2010. De la même manière, la Figure 19 montre également que le déficit en oxygène est très marqué dès 15 mètres de profondeur, et surtout de la manière la plus marquée pour l'ensemble des suivis.

On observe sur la Figure 19 pour la période 1978 – 1984 un unique épisode d'anoxie au fond du lac en novembre 1978. De la même manière, les **concentrations en oxygène à 20 mètres de profondeur ne sont jamais inférieures à 3 mg/L pour les années 1978 à 1980 et 1984, ce qui est systématiquement le cas en 2006, 2007 et 2011.**

Il apparaît donc clairement que le fonctionnement du cycle de l'oxygène au niveau du lac de Chalain présente des évolutions lourdes au cours des 25 dernières années. Ce constat fait état d'une tendance de plus en plus marquée vers une désoxygénation importante voire totale du lac à des profondeurs de plus en plus faibles et donc concernant un volume d'eau de plus en plus important.

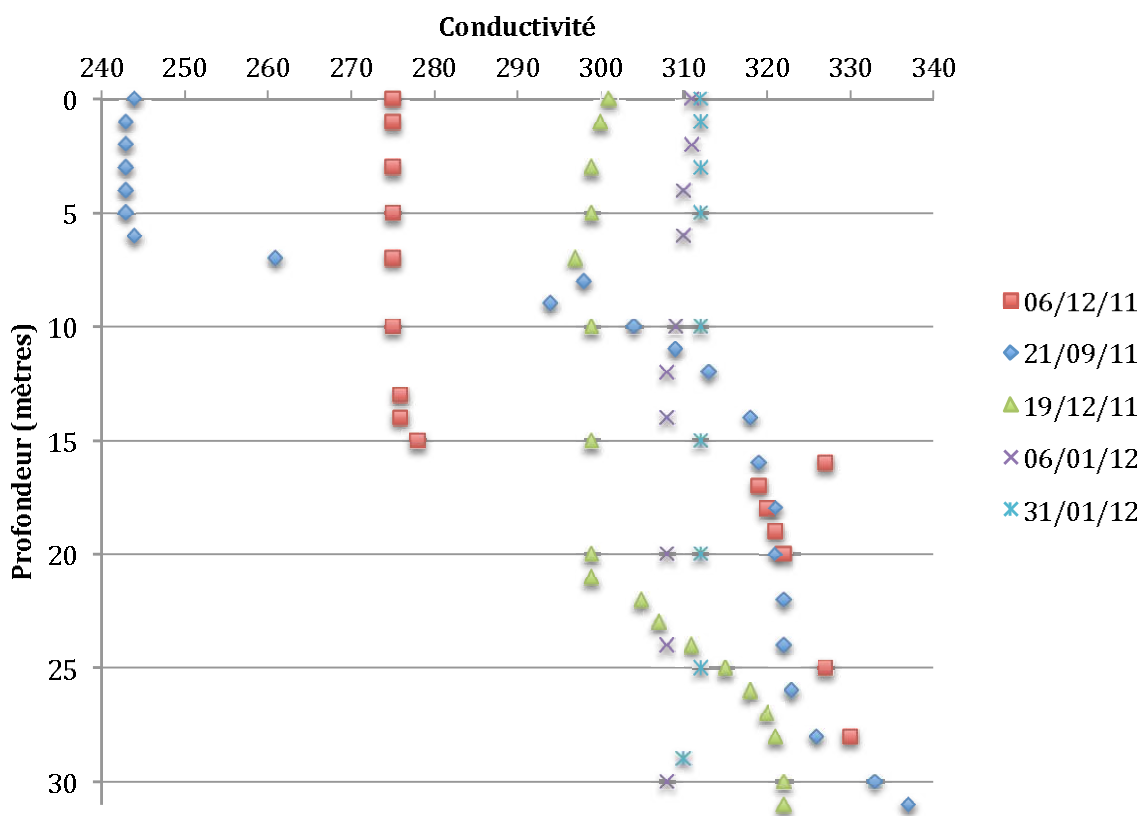


Figure 20 : profils verticaux de conductivité réalisés au cours de l'étude

Les différents profils de conductivité réalisés au cours de l'étude sont visibles sur la

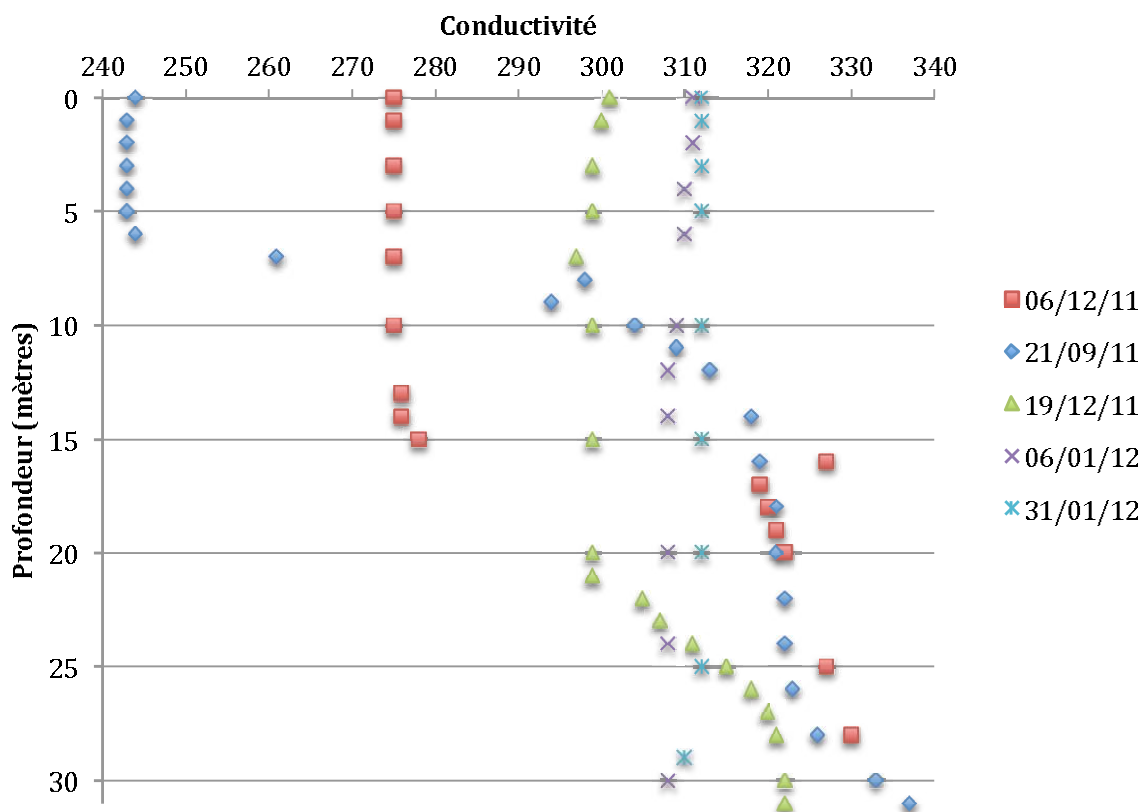


Figure 20. On observe qu'en fin de période estivale la conductivité est nettement plus faible en surface qu'en profondeur. Ceci témoigne d'un prélèvement important des ions par les organismes autotrophes au cours du processus de photosynthèse dans la zone trophogène. De la même manière, la petite augmentation de la conductivité vers le fond s'explique par un relargage d'ions à partir des sédiments grâce au travail bactérien de consommation de la matière organique. Les données brutes de conductivité figurent en Annexe 8.

Tableau 2 : valeurs remarquables de conductivité au cours des années 1978 à 1980 et en 1984. Source : SRAE,1986

Années		1978	1979	1980	1984
Moyennes	Surface	225	210	215	207
	Fond	245	236	230	240
Maxi		255	240	245	250
Mini		205	185	180	175

Une observation très importante est à réaliser à partir du Tableau 2. On y observe effectivement que les valeurs **maximales** observées au cours des années 1978 à 1980 et en 1984 sont très proches des valeurs **minimales** observées en 2011. Cette comparaison met en évidence un **très net enrichissement en ions du lac de Chalain en 30 ans**. Ceci implique une modification du fonctionnement trophique du lac.

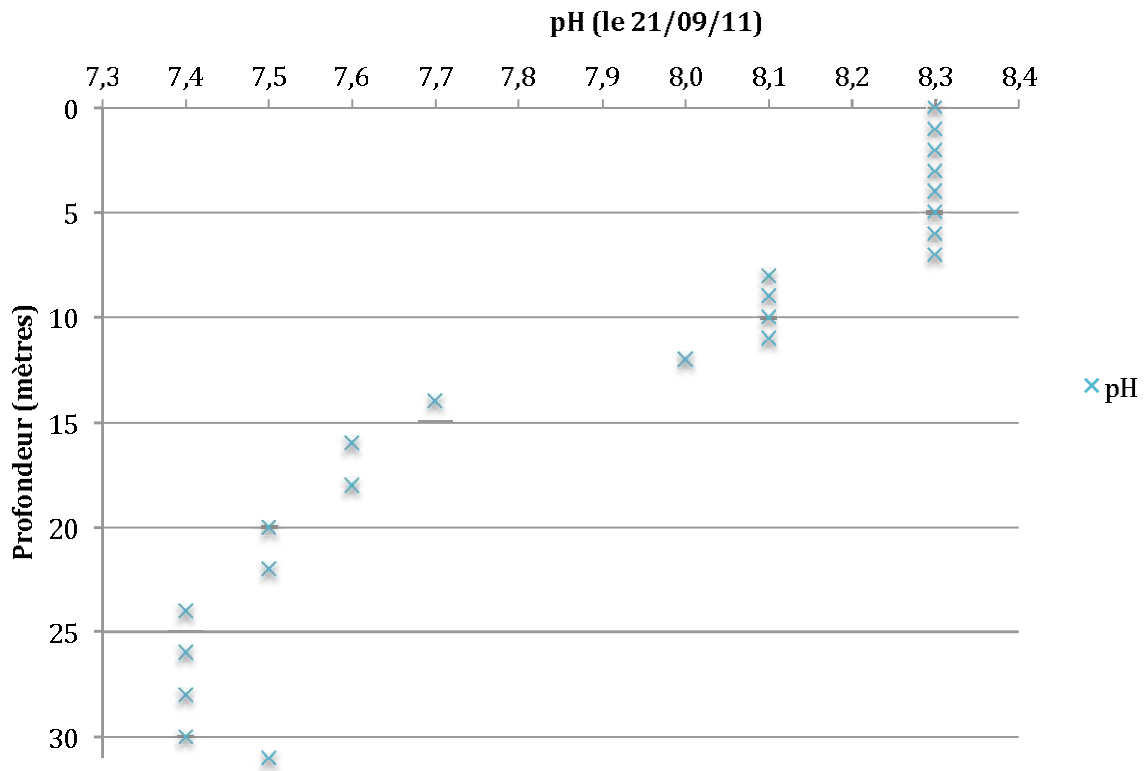


Figure 21 : profil vertical du pH réalisé le 21 septembre 2011 sur le lac de Chalain

Les résultats observés sur la Figure 21 concernant le profil vertical du pH du lac de Chalain en fin de période de stratification font état d'une structure déjà observée par (SRAE de Franche-Comté, 1986). Les valeurs basiques de surface s'expliquent par la consommation du gaz carbonique et donc l'appauvrissement en bicarbonates dans la zone trophogène durant les processus de photosynthèse phytoplanctoniques et macrophytiques.

Les résultats observés sur la Figure 22 concernant le profil vertical du potentiel redox du lac de Chalain en fin de période de stratification font état d'importants potentiels réducteurs à partir de 27 mètres de profondeur. La dégradation de la matière organique par les bactéries entraîne une diminution du potentiel redox et une augmentation des conditions réductrices dans le sédiment. On peut donc supposer un très intense processus de dégradation de matière organique, certainement lié à de fortes quantités de matière organique en présence. L'effet de l'anoxie s'ajoute à ce point.

Les données brutes de pH et de potentiel redox figurent en Annexe 9.

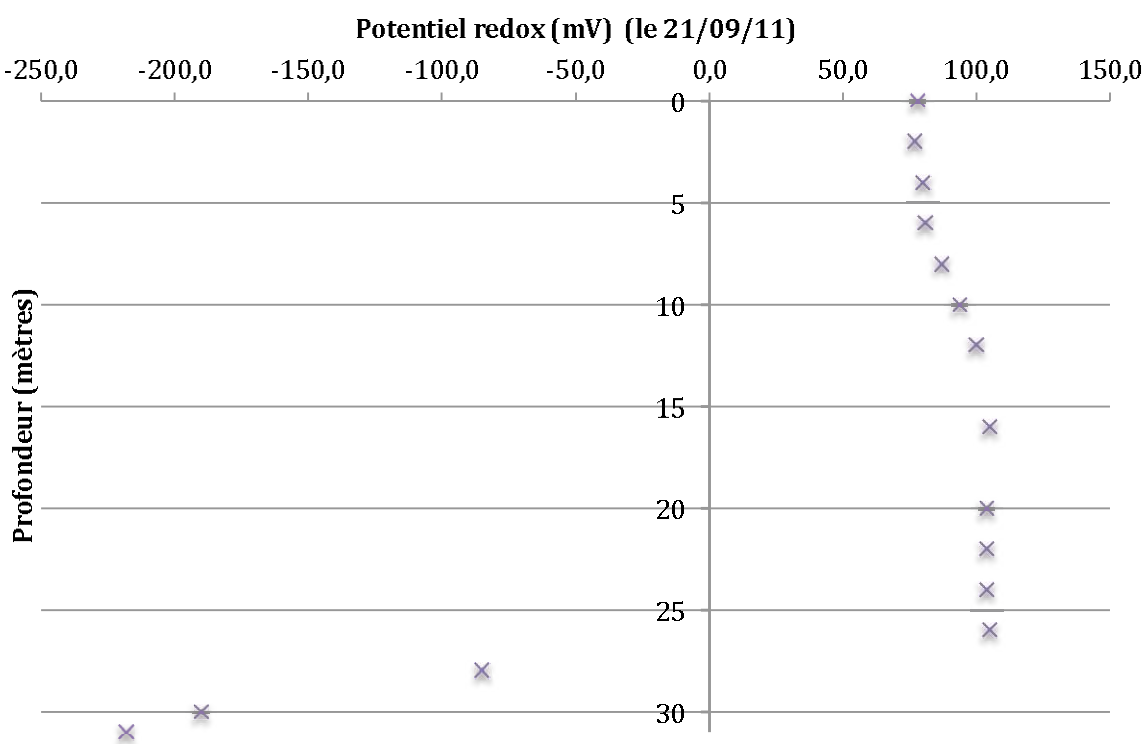


Figure 22 : profil vertical du potentiel redox réalisé le 21 septembre 2011 sur le lac de Chalain

Tableau 3 : résultats des analyses physico-chimiques d'eau réalisées sur un prélèvement intégré sur la zone euphotique et sur un prélèvement de fond

Prélèvement le 21/09/13	Fond	Intégré	Unité
DBOn	<3	<3	mg O2/L
Orthophosphates	<0,02	<0,02	mg P/L
Phosphore total	<0,12	<0,12	mg P/L
Azote ammoniacal (NH4)	<4	0,069	mg NH4/L
Azote ammoniacal (N-NH4)	<3,1	0,05	mg N/L
Azote Kjeldhal	1,1	<1	mg N/L
Nitrates (NO3)	<1	<1	mg NO3/L
Nitrates (N-NO3)	<0,23	<0,23	mg N/L
Nitrites (NO2)	<0,04	<0,04	mg NO2/L
Nitrites (N-NO2)	<0,013	<0,013	mg N/L
Azote global (NTK+NO2+NO3)	1,3	0,97	mg N/L
MES totales	4,7	2,5	mg/L
Carbone Organique Total	2,47	2,4	mg C/L
Carbone Organique Dissous	2,73	2,4	mg C/L
Turbidité	15	2,3	NFU
Chlorophylle A		<1	µg/L
Chlorophylle B		<1	µg/L
Chlorophylle C		<1	µg/L
Phéophytine		<1	µg/L
Silicium dissout		0,2	mg(Si)/L
Silice dissoute		0,4	mg/L

Il est possible d'observer dans le Tableau 3 les résultats des analyses physico-chimiques d'eau réalisées sur un prélèvement intégré sur la zone euphotique et sur un prélèvement de fond. La transparence de Secchi était de 3,6 mètres le 21 septembre 2011, soit le jour du prélèvement. Les résultats observés sont cohérents et proches de ceux cités par (SRAE de Franche-Comté, 1986) et (NBCE, 2008).

Les limites de quantification offertes par le LDA39 concernant les résultats du Tableau 3 sont assez faibles pour certains paramètres azotés et phosphorés notamment.

Il faut toutefois signaler plusieurs résultats importants. Il semble en premier lieu que les suivis de 2007 et de 2010 réalisés par l'Agence de l'Eau RMC (Agence de l'eau RMC, 2011a) (Agence de l'eau RMC, 2011b) témoignent de concentrations en phosphore dans l'eau et dans les sédiments importantes pour ce type de milieu. Cette information est confirmée par (NBCE, 2008) qui indique que la richesse des sédiments en phosphore a doublé entre 1984 et 2007, et que l'eau interstitielle présente également sur la même période une nette augmentation de sa concentration en phosphore total. Les valeurs brutes citées ici figurent dans le Tableau 4.

Tableau 4 : valeurs de phosphore total contenu dans les sédiments et l'eau intersticielle du lac de Chalain

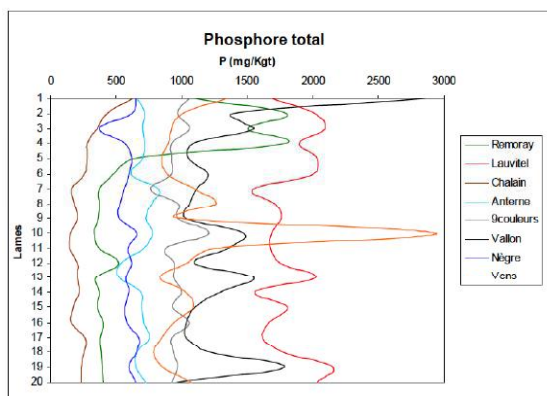
	1984 (SRAE)	2006 (NBCE, 2008)	2007 (AERMC)	2010 (AERMC)
Ptot séd (mg/kg MS)			467	787,4
Ptot séd (% de MS)	0,04	0,08		
Ptot eau interst séd (mg/L)		0,49	0,065	0,15

Une étude récente (Bourgeot, Olivetto, et Prompt, 2008) a réalisé un diagnostic paléolimnologique du lac de Chalain. De très intéressantes données sur l'évolution historique des concentrations en différents éléments ont pu être obtenues et sont présentées ci-dessous.

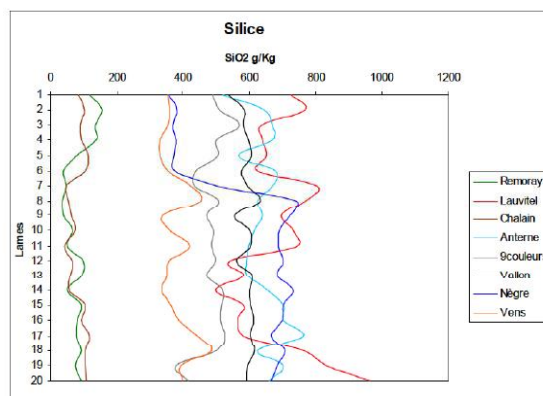
On peut noter « une augmentation importante de la teneur en phosphore au niveau des segments les plus superficiels (du segment 4 au 1), soit les années 1950, correspondant au début des activités de loisir et notamment à la création de campings à proximité du lac ». La même observation peut être faite au cours des dernières années.

Le même type de courbe a pu être établi pour un certain nombre d'éléments traces métalliques (cuivre, chrome, nickel, cadmium, zinc, plomb, arsenic, sélénium). On observe sur le lac de Chalain une forte augmentation depuis quelques dizaines d'années puis une tendance à la diminution pour l'ensemble de ces composés sauf l'arsenic, ce qui traduit encore une fois l'arrivée de molécules exogènes dans le lac.

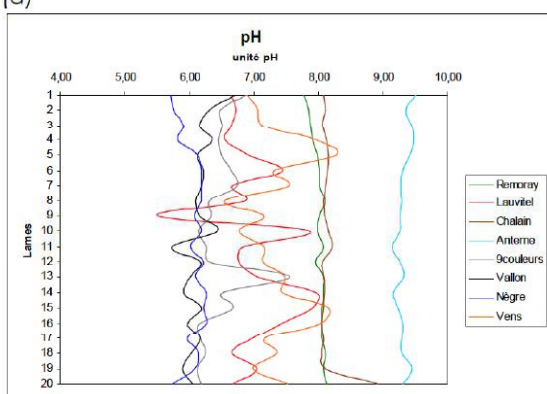
Enfin, la même étude a permis de mettre en évidence une diminution de la richesse taxonomique et des abondances globales diatomiques à partir des années 1920. Parallèlement à cela, l'étude des pigments fossiles a permis de remarquer « l'augmentation sensible de lutéine (biomarqueur des chlorophycées) au niveau du segment le plus superficiel, pouvant refléter un impact des campings environnants ».



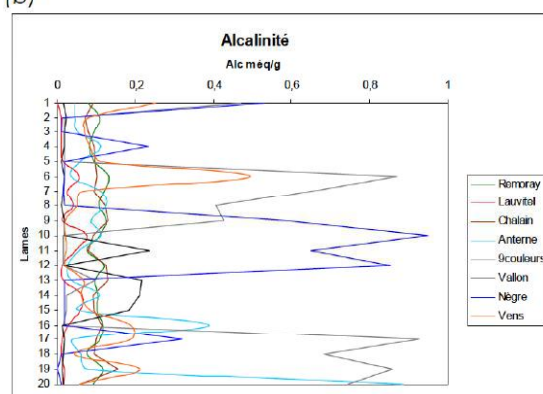
(a)



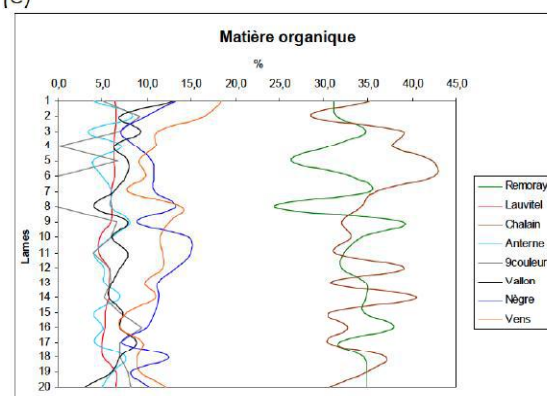
(b)



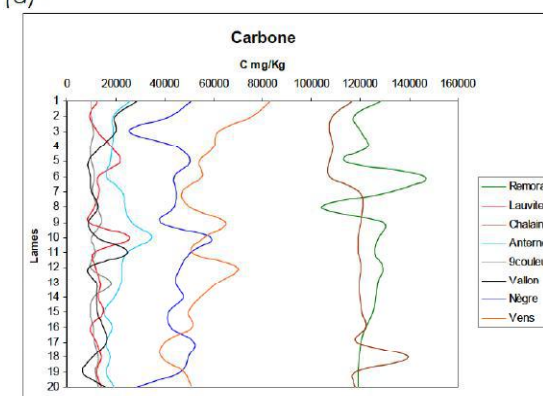
(c)



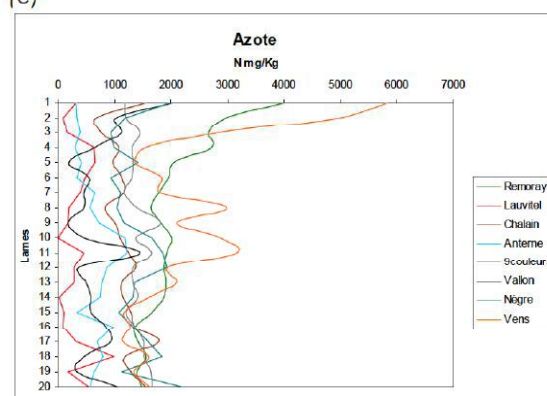
(d)



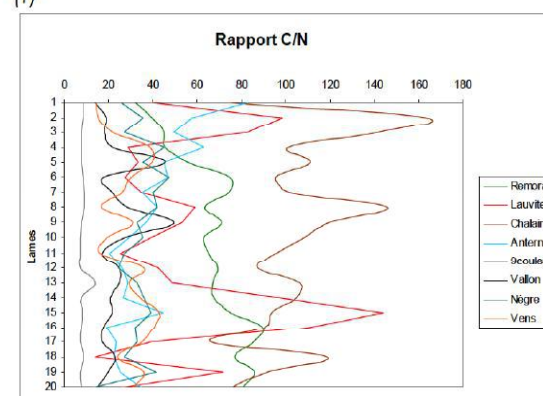
(e)



(f)



(g)



(h)

Figure 21 - Profils physico-chimiques longitudinaux des carottes de sédiment. A noter que les lacs ont tous des vitesses de sédimentation différentes et qu'il n'y a donc pas de synchronisme entre les différentes courbes. (a) phosphore total; (b) silice; (c) pH; (d) alcalinité; (e) matière organique; (f) carbone; (g) azote; (h) rapport C/N.

De la même manière, l'importante consommation journalière en oxygène observée par les suivis de l'AERMC traduit une forte activité de dégradation de la matière organique, bien au-delà des valeurs attendues à partir de l'activité de production. Cette observation est en lien avec les forts déficits en oxygène observés. Ce point a également comme conséquence un relargage probable de phosphore (Gächter et Meyer, 1993). (NBCE, 2008) indique que la consommation hypolimnique d'oxygène n'est pas imputable seulement à la biomasse algale mais certainement à d'autres sources de matière organique (macrophytes, rejets diffus, apports liés à l'activité touristique, sources sous-lacustres, etc.). Enfin, ce même rapport indique que « la perte au feu et le carbone organique du sédiment ont augmenté pratiquement de 100% [entre 1984 et 2006], ce qui confirme que le milieu s'est bien enrichi en matière organique détritique ».

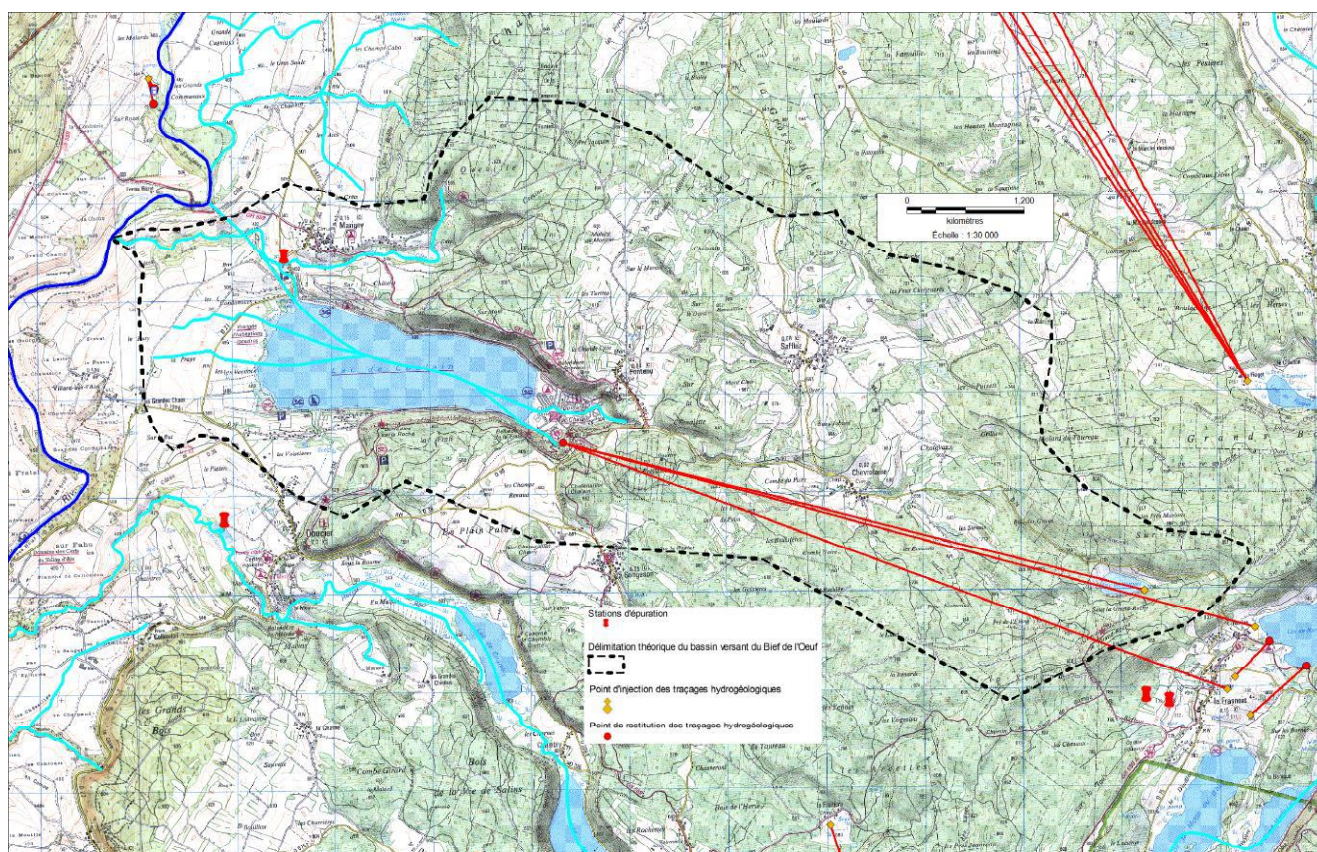


Figure 23 : répartition des stations d'épuration et délimitation théorique du bassin versant du Bief de l'œuf, avec les différents traçages réalisés dans le secteur indiquant une extension plus importante du bassin versant (d'après IGN, DREAL FC et AERMC).

On peut voir sur la Figure 23 qu'une seule station d'épuration (Marigny) est présente en tant que telle sur le bassin versant du lac de Chalain. Les éléments suivants de ce paragraphe ont été apportés par M. Stéphane Le Bossé, de la mission Eau Assainissement du Conseil Général du Jura. Cette station d'épuration collecte les eaux usées de Fontenu et Saffloz, dont les eaux rejoignent gravitairement le camping du Domaine de Chalain avant d'être refoulés par un poste. Le poste est régulièrement visité et aucun constat de trop plein d'eaux usées vers le cours d'eau n'a été fait. Concernant le transit rive droite, le CG39 a peu de connaissance, mais il semble que ce soit essentiellement du refoulement et du réseau relativement récent via le camping de la Pergola. Le réseau de Marigny rejoint gravitairement la STEP de Marigny. Son fonctionnement (boues activées) est satisfaisant, le niveau de rejet est respecté. En 2011, la DDT a imposé le traitement du phosphore sur la période estivale.

L'assainissement rive gauche du lac concerne la plage, la Maison Familiale Rurale, la fromagerie (avec traitement rénové en 2012) et la Combe Verne. L'ensemble des eaux usées (et eaux de la fromagerie traitées) est collecté. Deux postes relèvent les eaux usées jusqu'au réseau de Doucier avant d'être acheminées gravitairement jusqu'à la step de Doucier. Des visites sont régulièrement effectuées sur les 2 postes situés à la Combe Verne sans aucune observation de « by-pass ». Ces postes sont exploités et surveillés par Véolia. Le fonctionnement de la STEP de Doucier (lagunage) est satisfaisant et le rejet s'effectue dans le Hérisson et non dans le lac.

La STEP du Frasnais a peut-être une partie de ces rejets qui vont dans le lac de Chalain d'après la Figure 23. Cette station est équipée pour le traitement du phosphore mais ne l'utilise pas (Comm. pers. Sébastien Canault AERMC). Il faut par ailleurs signaler que le poste de relevage situé en rive droite au niveau du camping de la Pergola dysfonctionne en moyenne une fois tous les 2 ans (comm. pers. Serge Regad).

Les orientations technico-économique agricole des communes situées au sein du contrat de rivière Ain amont sont les suivantes (Renaud, 2012) :

- Bovins lait pour les communes de Marigny, Fontenu et Songeson,
- Bovins mixtes pour Doucier.

En conclusion, il apparaît que le statut trophique du **lac de Chalain est en train d'évoluer vers une dystrophie**. Ces modifications des propriétés physico-chimiques des eaux et des sédiments ont lieu depuis bientôt une décennie au minimum. **Ceci représente une tendance lourde et un vieillissement prématuré et accéléré du lac**, qui se déroule de manière naturelle sur un pas de temps beaucoup plus long, de l'ordre de plusieurs siècles voire du millénaire. **Les conséquences de ce type de phénomène sont des modifications de l'ensemble du fonctionnement de l'écosystème, notamment des communautés biologiques.**

3.3 Peuplements piscicoles

Les différentes données disponibles et discutées ci-dessous sont issues de plusieurs travaux :

- l'échantillonnage piscicole réalisé par le SRAE en 1984 (SRAE de Franche-Comté, 1986),
- les travaux engagés en 2003 afin de réaliser une intercalibration entre les protocoles « CEN » et « filets verticaux » (CSP, 2004) (Degiorgi, 2004)
- la campagne d'échantillonnage piscicole réalisé dans le cadre de cette étude.

Tableau 5 : principales caractéristiques des différents échantillonnages piscicoles réalisés sur le lac de Chalain

	1984		2003		2011	
Période	10-14/06/1984 et 2-5/09/1984		20-23/10/2003		19-22/09/2011	
Zone	littorale	pélagique	benthique	pélagique	benthique	pélagique
Nombre de tendues	23	6	FV : 42		FV : 40 CEN : 40	FV : 14 CEN : 10
			CEN : 40	CEN : 10		
Surface pêchante (m²)	4524	5859	FV : 5124		FV : 994 CEN : 1800	FV : 3500 CEN : 1650
			CEN : 1800	CEN : 1650		

Le Tableau 5 présente les principales caractéristiques des différents échantillonnages piscicoles historiques réalisés depuis 1984 sur le lac de Chalain. On peut noter que les périodes d'échantillonnage et les surfaces pêchantes sont globalement proches. Il n'a pas été possible de réaliser une comparaison de l'efficacité de pêche en 1984 et 2011 car il n'y a pas de maille commune entre un même type de filet.

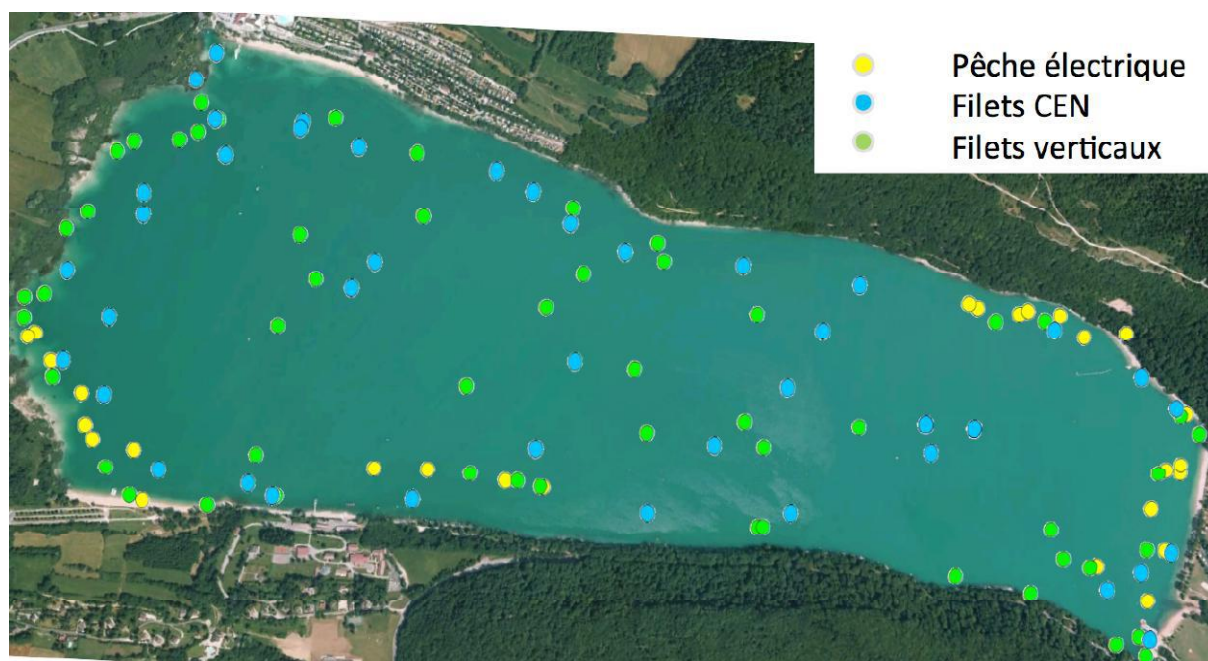


Figure 24 : répartition spatiale de l'effort de pêche lors de l'étude piscicole du lac de Chalain de 2011. Source : EAWAG

3.3.1 Biodiversité

Tableau 6 : comparatif de la diversité piscicole observée sur le lac de Chalain au cours des différents inventaires piscicoles réalisés depuis 1984 et à partir des données de Kreitmann, 1937

Espèces	Nom latin	1937	1984	2003	2011
Ablette	Alburnus alburnus			X	
Anguille	Anguilla anguilla	X	X		
Blageon	Leuciscus souffia			X	X
Brochet	Esox lucius	X	X	X	X
Carpe commune	Cyprinus carpio			X	
Chevesne	Squalius cephalus	X	X	X	X
Corégone	Coregonus sp		X	X	X
Gardon	Rutilus rutilus	X	X	X	X
Goujon	Gobio gobio			X	
Perche	Perca fluviatilis	X	X	X	X
Perche soleil	Lepomis gibbosus		X		X
Rotengle	Scardinius sp	X	X	X	X
Sandre	Sander lucioperca				X
Spirilin	Alburnoïdes bipunctatus				X
Tanche	Tinca tinca		X	X	X
Truite	Salmo trutta	X	X	X	X
Vairon	Phoxinus phoxinus				X
Vandoise	Leuciscus leuciscus				X
Total		7	10	12	14

On peut observer dans le Tableau 6 l'évolution de la biodiversité piscicole capturée entre les différents inventaires réalisés en 1984, 2003 et 2011. On note ainsi que 14 espèces ont été observées en 2011, alors que cette valeur n'était que de 12 en 2003 et 10 en 1984 et de seulement 7 espèces en 1937, parmi lesquelles l'anguille était introduite (Kreitmann, 1937).

On peut raisonnablement supposer que l'introduction du

corégone dans le lac date d'après-guerre. Il faut souligner l'observation en 2011 de quelques spécimens de sandre, dont l'origine est certainement liée à l'activité pêche de loisir. On note également la présence du spirilin, du vairon et de la vandoise. Enfin, certaines espèces comme la carpe commune ou la perche soleil ne semblent pas avoir établi de population stable et semblent liées à des introductions ponctuelles.

3.3.2 Nombre d'individus

La Figure 25 permet de préciser les abondances des différentes captures effectuées. On

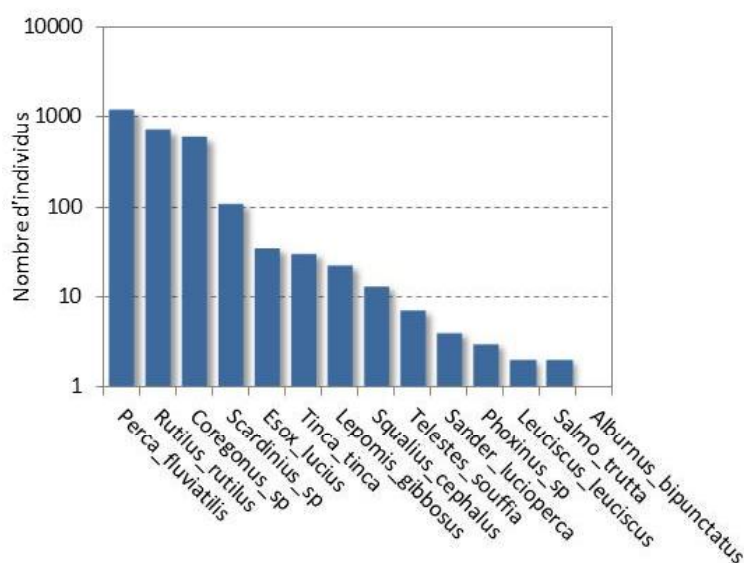


Figure 25 : répartition des effectifs totaux bruts capturés par espèce

observe en premier lieu une nette dominance de la perche, du gardon et du corégone. Ce trio constitue le peuplement couramment admis de ce lac au cours des échantillonnages précédents (SRAE de Franche-Comté, 1986) (CSP, 2004). Viennent ensuite le rotengle, relativement seul, suivi par un nouveau groupe de trois espèces et composé du brochet, de la tanche et de la perche soleil. Les espèces suivantes ont été capturées en faibles effectifs.

Le Tableau 7 permet de préciser la répartition des effectifs par mode de capture. On note en premier lieu que la perche a été capturée de manière intense par les filets CEN benthiques. Le gardon, le corégone, le rotengle, le brochet et la tanche n'ont pas répondu d'une manière particulière à un protocole particulier. A l'inverse, le sandre n'a été capturé que par les filets CEN benthiques, tandis que le blageon, le vairon, la vandoise et la truite n'ont été capturés que par la pêche à l'électricité. On peut enfin observer que seuls deux individus de truite lacustre ont été capturés.

Tableau 7 : répartition des effectifs bruts capturés par protocole et par espèce

Type_Fishing	CEN benthique	CEN pélagique	pêche électrique	Verticaux benthique	Verticaux pélagique	Total
Perca_fluviatilis	937	0	31	34	164	1166
Rutilus_rutilus	369	109	137	46	47	708
Coregonus_sp	69	199	0	0	318	586
Scardinius_sp	22	0	20	38	28	108
Esox_lucius	12	0	10	8	4	34
Tinca_tinca	8	0	3	11	8	30
Lepomis_gibbosus	0	0	20	2	0	22
Squalius_cephalus	1	0	1	11	0	13
Telestes_souffia	0	0	7	0	0	7
Sander_lucioperca	4	0	0	0	0	4
Phoxinus_sp	0	0	3	0	0	3
Leuciscus_leuciscus	0	0	2	0	0	2
Salmo_trutta	0	0	2	0	0	2
Alburnus_bipunctatus	0	0	0	0	1	1
Total	1422	308	236	150	570	2686

3.3.3 Biomasse

La Figure 26 permet de préciser les biomasses des différentes captures effectuées. On

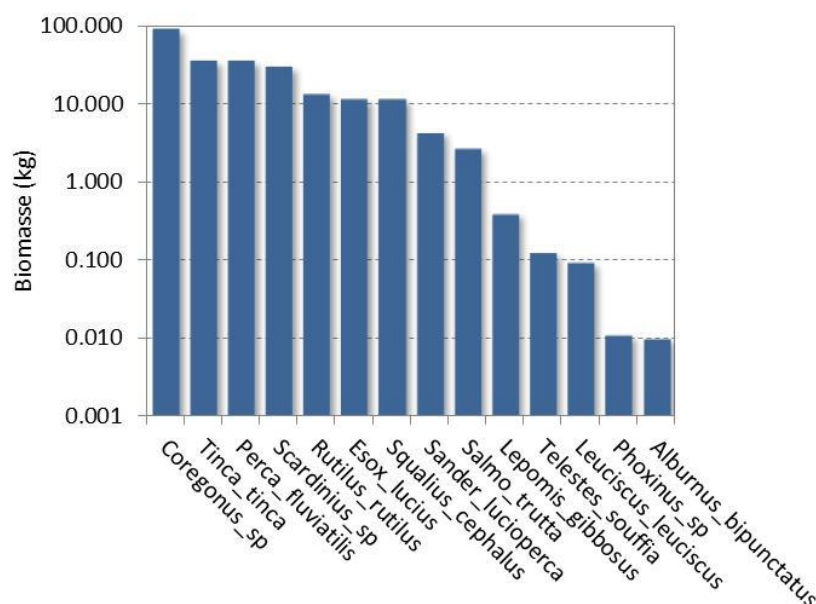


Figure 26 : répartition des biomasses totales brutes capturées par espèce

observe ainsi que le corégone domine nettement, suivi par la tanche, la perche et le rotengle. On remarque ensuite un troisième groupe composé du gardon, du brochet et du chevesne. Les biomasses des espèces venant ensuite sont nettement plus anecdotiques.

On remarque donc que l'ordre d'apparition lors du classement des densités et/ou des biomasses de manière décroissante n'est pas le

même. Malgré ce point, le corégone et la perche sont toujours clairement dominants dans le peuplement échantillonné.

L'analyse à partir du Tableau 8 de la répartition des biomasses capturées par protocole et par espèce permet seulement d'affirmer que les espèces échantillonnées avec une biomasse importante l'ont généralement été via plusieurs méthodologies et ne sont pas cantonnées à une seule d'entre elles. Ceci laisse donc supposer une forte biomasse de ces populations dans le lac de Chalain.

Tableau 8 : répartition des biomasses brutes capturées par protocole et par espèce

Type_Fishing	CEN		pêche	Verticaux	verticaux	Total
	bentique	pélagique	électrique	benthique	pélagique	
Coregonus_sp	12.63	33.18	0.00	0.00	45.90	91.71
Tinca_tinca	11.33	0.00	0.12	13.26	11.86	36.56
Perca_fluviatilis	23.17	0.00	0.18	0.77	12.12	36.24
Scardinius_sp	9.22	0.00	0.09	10.08	11.20	30.59
Rutilus_rutilus	8.13	0.44	0.60	2.43	1.88	13.48
Esox_lucius	3.61	0.00	1.10	2.71	4.34	11.76
Squalius_cephalus	0.34	0.00	0.05	11.21	0.00	11.60
Sander_lucioperca	4.38	0.00	0.00	0.00	0.00	4.38
Salmo_trutta	0.00	0.00	2.71	0.00	0.00	2.71
Lepomis_gibbosus	0.00	0.00	0.17	0.23	0.00	0.40
Telestes_souffia	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.12
Leuciscus_leuciscus	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.09
Phoxinus_sp	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
Alburnus_bipunctatus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Total	72.80	33.63	5.24	40.69	87.32	239.67

3.3.4 CPUE

Les données présentées plus haut sont des données de captures brutes. Elles ne présentent qu'un intérêt descriptif. Ces résultats sont en effet totalement assujettis à l'effort de pêche qui a été consenti. Ainsi, un important effort de pêche a de fortes chances de conduire à d'importantes quantités capturées. Il est donc nécessaire de rapporter les effectifs et les biomasses capturées à un effort de pêche, correspondant généralement à des Captures Par Unité d'Effort (CPUE), soit l'effectif/la biomasse capturée pour 1000 m² de filet ou de surface de pêche électrique.

Tableau 9 : répartition par espèce et par mode de capture des CPUE = nombre d'individus par 1000m² de filet ou de surface pêche électrique

Type_Fishing	CEN		pêche électrique	Verticaux	
	benthique	pélagique		benthique	pélagique
Alburnus_bipunctatus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29
Coregonus_sp	38.33	120.61	0.00	0.00	90.86
Esox_lucius	6.67	0.00	12.35	8.05	1.14
Lepomis_gibbosus	0.00	0.00	24.69	2.01	0.00
Leuciscus_leuciscus	0.00	0.00	2.47	0.00	0.00
Perca_fluviatilis	520.56	0.00	38.27	34.21	46.86
Phoxinus_sp	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00
Rutilus_rutilus	205.00	66.06	169.14	46.28	13.43
Salmo_trutta	0.00	0.00	2.47	0.00	0.00
Sander_lucioperca	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Scardinius_sp	12.22	0.00	24.69	38.23	8.00
Squalius_cephalus	0.56	0.00	1.23	11.07	0.00
Telestes_souffia	0.00	0.00	8.64	0.00	0.00
Tinca_tinca	4.44	0.00	3.70	11.07	2.29
Total	790.00	186.67	291.36	150.91	162.86

On observe ainsi dans le Tableau 9 les CPUE des effectifs. On note que seules quelques espèces présentent des CPUE importantes au niveau pélagique : le corégone, la perche, le gardon et le rotengle. Toutefois, seul le corégone présente la majorité de sa CPUE numérique en zone pélagique.

Tableau 10 : répartition par espèce et par mode de capture des CPUE= Kg par 1000m² de filet ou de surface pêche électrique

Type_Fishing	CEN		pêche électrique	Verticaux	
	benthique	pélagique		benthique	pélagique
Alburnus_bipunctatus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coregonus_sp	7.02	20.11	0.00	0.00	13.12
Esox_lucius	2.01	0.00	1.35	2.73	1.24
Lepomis_gibbosus	0.00	0.00	0.21	0.23	0.00
Leuciscus_leuciscus	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
Perca_fluviatilis	12.87	0.00	0.23	0.78	3.46
Phoxinus_sp	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Rutilus_rutilus	4.51	0.27	0.74	2.45	0.54
Salmo_trutta	0.00	0.00	3.35	0.00	0.00
Sander_lucioperca	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00
Scardinius_sp	5.12	0.00	0.11	10.14	3.20
Squalius_cephalus	0.19	0.00	0.06	11.28	0.00
Telestes_souffia	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00
Tinca_tinca	6.29	0.00	0.14	13.34	3.39
Total	40.44	20.38	6.47	40.94	24.95

L'observation du Tableau 10 permet de mettre en avant les plus importantes biomasses capturées au cours de l'échantillonnage. On voit ainsi que le corégone domine clairement, suivi par la perche et par le rotengle. Le chevesne et le gardon arrivent respectivement ensuite.

On peut donc supposer que les rotengles et les chevesnes sont majoritairement des poissons de taille importante, ce qui explique le différentiel entre le Tableau 9 et le Tableau 10. A l'inverse, les gardons, qui présentent une assez importante CPUE numérique mais une faible CPUE pondérale, sont certainement majoritairement représentés par de petits individus.

Enfin, on observe qu'environ 18 % de la CPUE numérique a été capturée par pêche électrique, tandis que cette valeur tombe à seulement environ 5 % concernant la CPUE pondérale. Il est donc clair que la majorité des individus capturés à l'électricité dans les habitats de bordure sont de faible biomasse et donc certainement de petite taille.

3.3.5 Répartition verticale des captures

La répartition verticale des CPUE en lien avec la répartition de l'effort d'échantillonnage est visible sur la Figure 27. Cette analyse est rendue possible par l'utilisation du protocole « filets verticaux ». On voit d'abord que cet effort, traduit par la surface de filet, est relativement régulier sur toute la colonne d'eau, avec toutefois un effort plus marqué sur la zone littorale, et notamment à 2 mètres de profondeur. A l'inverse, les rendements de capture sont croissants entre le littoral et 6 mètres de profondeur, puis moyens entre 7 et 11 mètres, avec quelques pics jusqu'à 16 mètres. Le fait majeur est la **quasi-absence de captures à partir de 21 mètres de profondeur malgré un effort d'échantillonnage constant**.

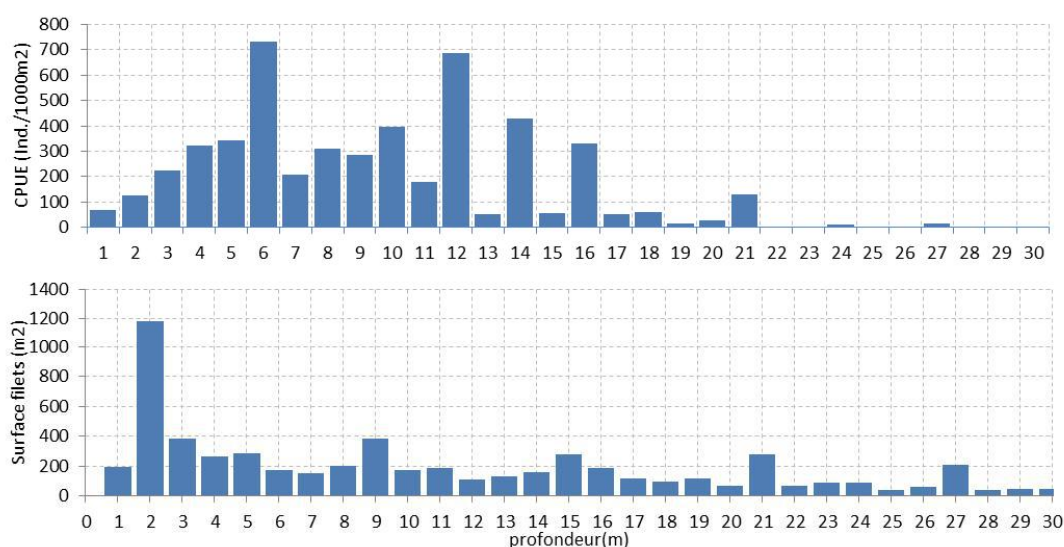


Figure 27 : répartition verticale de l'effort d'échantillonnage et des CPUE

3.3.6 Utilisation des habitats

Il est possible d'observer sur la Figure 28 qu'une majeure partie des captures réalisées par pêche électrique l'ont été au niveau des habitats d'hélophytes de branchages/racines. Ce résultat montre le caractère très biogène de ces habitats au niveau des zones littorales. On y retrouve principalement des gardons et des rotengles et de manière moindre des perches et des brochets.

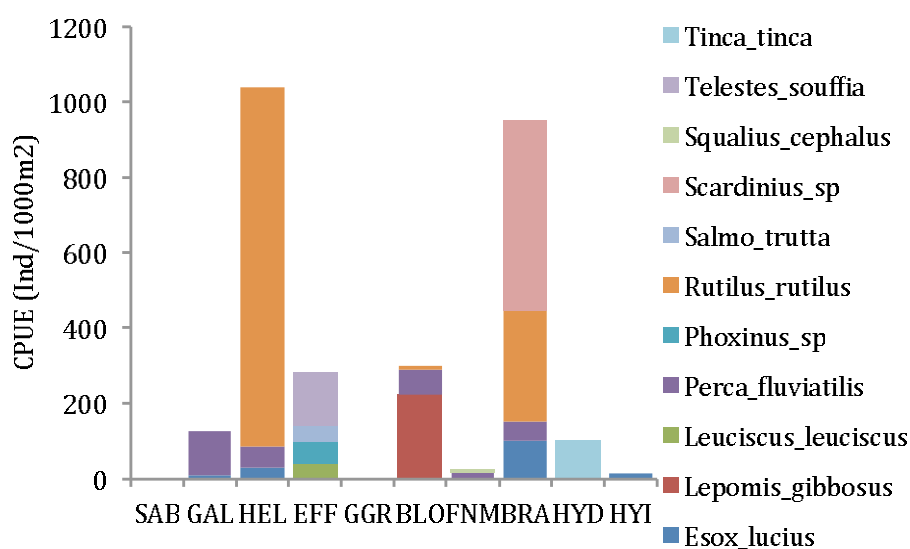


Figure 28 : répartition par espèce et par habitat des CPUE par pêche électrique (Ind/1000m2 de surface électrique pêché)

La Figure 29 fait état de résultats contrastés, avec d'importantes CPUE globales mais surtout de perches, de gardons et de rotengles au niveau des habitats de sable, de galets, d'hélophytes encore une fois et de blocs.

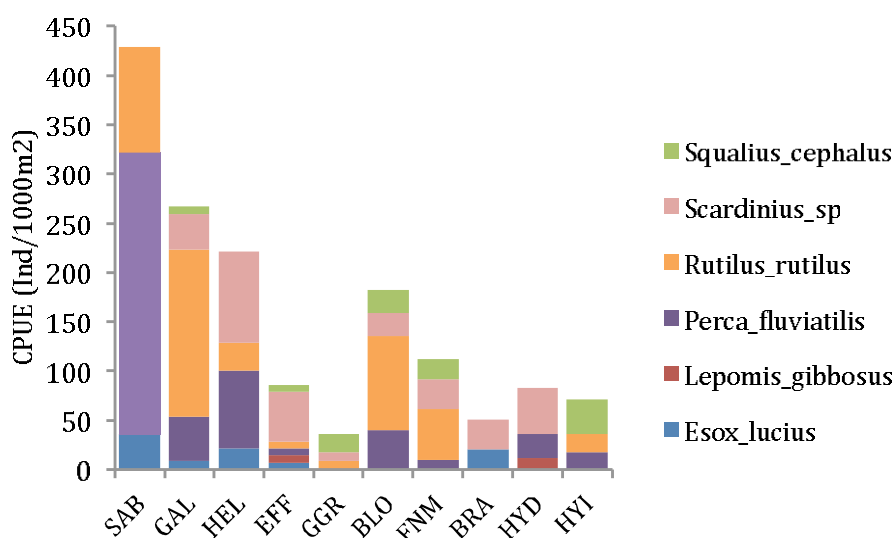


Figure 29 : répartition par espèce et par habitat des CPUE par les filets verticaux (Ind/1000m2 de surface de filet)

Pour rappel, il a été montré sur la Figure 8 que les habitats de branchages et de blocs, particulièrement biogènes, sont en nets régression. De la même manière, les fonds nus minéraux, très peu attractifs, sont en forte progression, passant de 4,7% à 8% de la surface. À l'inverse, les héliophytes, particulièrement biogènes, sont en légère progression. Cette analyse spatiale des rendements de capture en fonction des habitats est rendue possible par la mise en œuvre du protocole « filets verticaux ». Les CPUE des différents modes de capture par habitats figurent en Annexe 10.

3.3.7 Gestion halieutique

Des empoissonnements sont réalisés par la fédération de pêche du Jura quasiment chaque année, dont le détail est visible dans le Tableau 11. On peut voir qu'étaient déversés historiquement du brochet, de la perche, de la truite et du gardon, ce qui n'a plus cours depuis 2005. Du corégone est introduit depuis au moins 2001. On note enfin l'introduction en 2011 de black-bass à grande bouche et d'ombles chevalier, offerts pour cause de surplus par la pisciculture de Thonon-les-Bains. Cette dernière population est toutefois contaminée par corynebactériose (ce qui a été appris après l'empoissonnement), ce qui pose d'évidents problèmes de risques de contamination du lac de Chalain par cette pathologie. Ces deux espèces n'ont pas été capturées lors de l'échantillonnage, ce qui laisse supposer un fort taux de capture et/ou de mortalité naturelle. L'introduction du black-bass ou de toute autre espèce engendre le même type de risque, concernant n'importe quel type de pathogène de manière générale. Cette pratique doit donc être abandonnée. Les corégones introduits en 2008 et 2009 ont fait l'objet d'un fluoromarquage de leurs otolithes par balnéation.

Tableau 11 : historique depuis 1999 des empoissonnements réalisés par la fédération de pêche du Jura sur le lac de Chalain

Date	Espèce	Stade	Poids (kg)	Effectif
07/07/99	Truite fario	2		8700
20/10/99	Perche	4	51	
20/10/99	Brochet	4	34	
09/08/00	Truite fario	2		4250
09/11/00	Truite fario	2		4250
04/05/01	Corégone	2		63000
16/03/02	Brochet	5	95	
18/04/02	Corégone	2		49000
26/02/03	Brochet	3	58	580
24/04/03	Corégone	2		49000
27/02/04	Gardon	5	200	
16/04/04	Corégone	2		30000
02/12/04	Brochet	3	70	490
24/03/05	Gardon	5	100	
11/05/05	Corégone	2		40000
22/12/05	Brochet	3	100	200
06/05/08	Corégone	2		60000
07/05/09	Corégone	2		60000
21/04/10	Corégone	2		40000
25/02/11	Black-bass	5	47	
12/04/11	Corégone	2		50000
12/04/11	Ombre chevalier	2		20000
16/04/12	Corégone	2		40000

La Figure 30 présente l'histogrammes des tailles des espèces les plus communes capturées sur le lac de Chalain au cours de l'échantillonnage. Les divisions des classes de taille en structure d'âge sont basées pour le corégone sur (Anonyme, 2000).

D'abord, les corégones font état d'un très bon recrutement, avec d'importantes densités d'individus mesurant entre 120 et 180 mm. Les effectifs de l'année suivante, soit la classe de taille 190-260 mm sont relativement cohérents. Enfin, les individus de plus grande taille sont très nombreux, avec notamment un très bel effectif de poissons de maille (320 mm sur le lac de Chalain), avec des individus capturés allant jusqu'à 420 mm.

On observe en second lieu que la population de perches présente une structure assez classique, avec des abondances cohérentes des classes de taille 50-110 mm et 120-210 mm. L'abondance des individus entre 220 et 340 mm est assez faible, laissant supposer une mauvaise année de reproduction. Enfin, les individus de grande taille sont relativement nombreux, avec des perches mesurées jusqu'à 44 cm, ce qui constitue un important panel de poissons trophés.

Enfin, les gardons présentent de très fortes abondances de poissons entre 40 et 90 mm et entre 100 et 160 mm, ce qui atteste d'un très fort recrutement. Les individus de taille supérieure sont assez bien répartis.

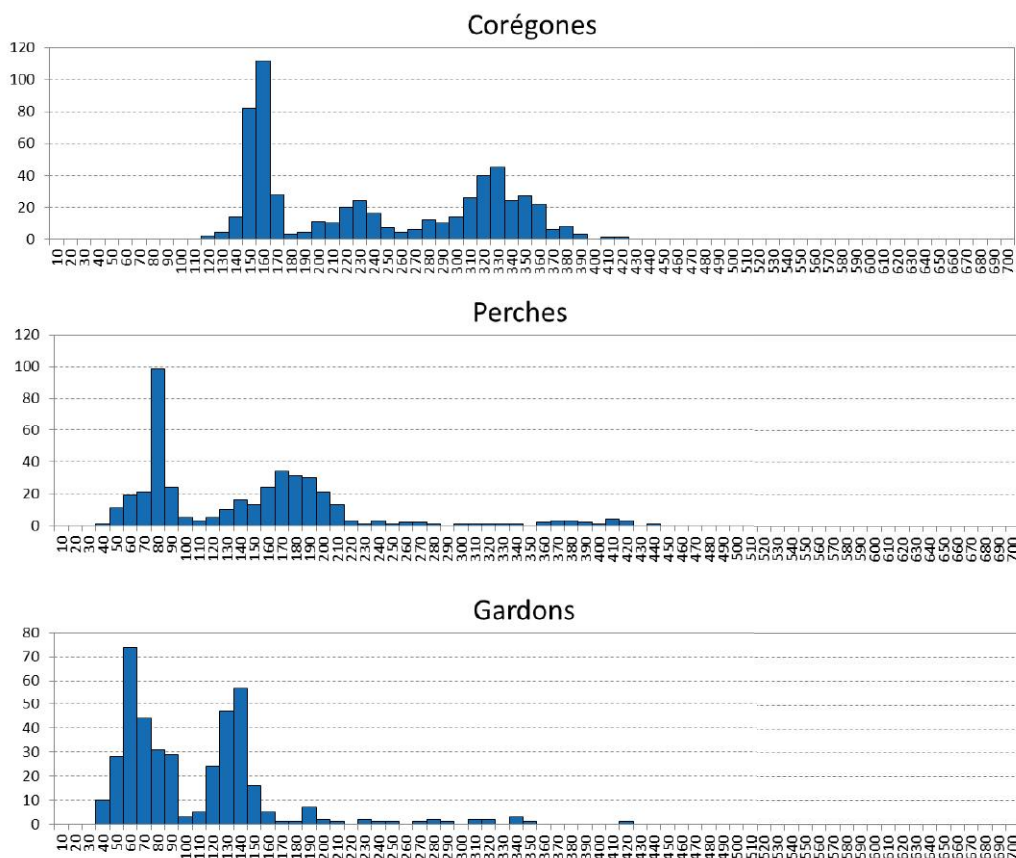


Figure 30 : répartition taille (mm)/fréquence des captures sur le lac de Chalain des corégones, perches et gardons, soit les espèces les plus communes

On peut donc clairement s'interroger sur l'intérêt d'empoissonnements en corégones sur le lac de Chalain à la vue de la dynamique de population observée ici. La lecture des otolithes de poissons échantillonnés en 2011 permettrait d'estimer le rôle des empoissonnements de 2008 et de 2009 sur la composition de la population totale.

3.3.8 Comparaisons avec d'autres lacs

La comparaison de la répartition des tailles des captures de ces trois mêmes espèces entre le lac de Chalain et différents autres lacs échantillonnés par l'EAWAG est visible sur la Figure 31. On observe encore plus nettement que les populations de corégones, perches et gardons du lac de Chalain sont très équilibrées, avec d'importants effectifs de poissons de petite taille, signe d'un recrutement efficace, ainsi que des densités également importantes de poissons de taille plus importante, signe d'une croissance rapide. C'est particulièrement le cas pour les perches qui présentent la plus forte densité de poissons de grande taille avec le lac de Brienz (canton de Berne, Suisse).

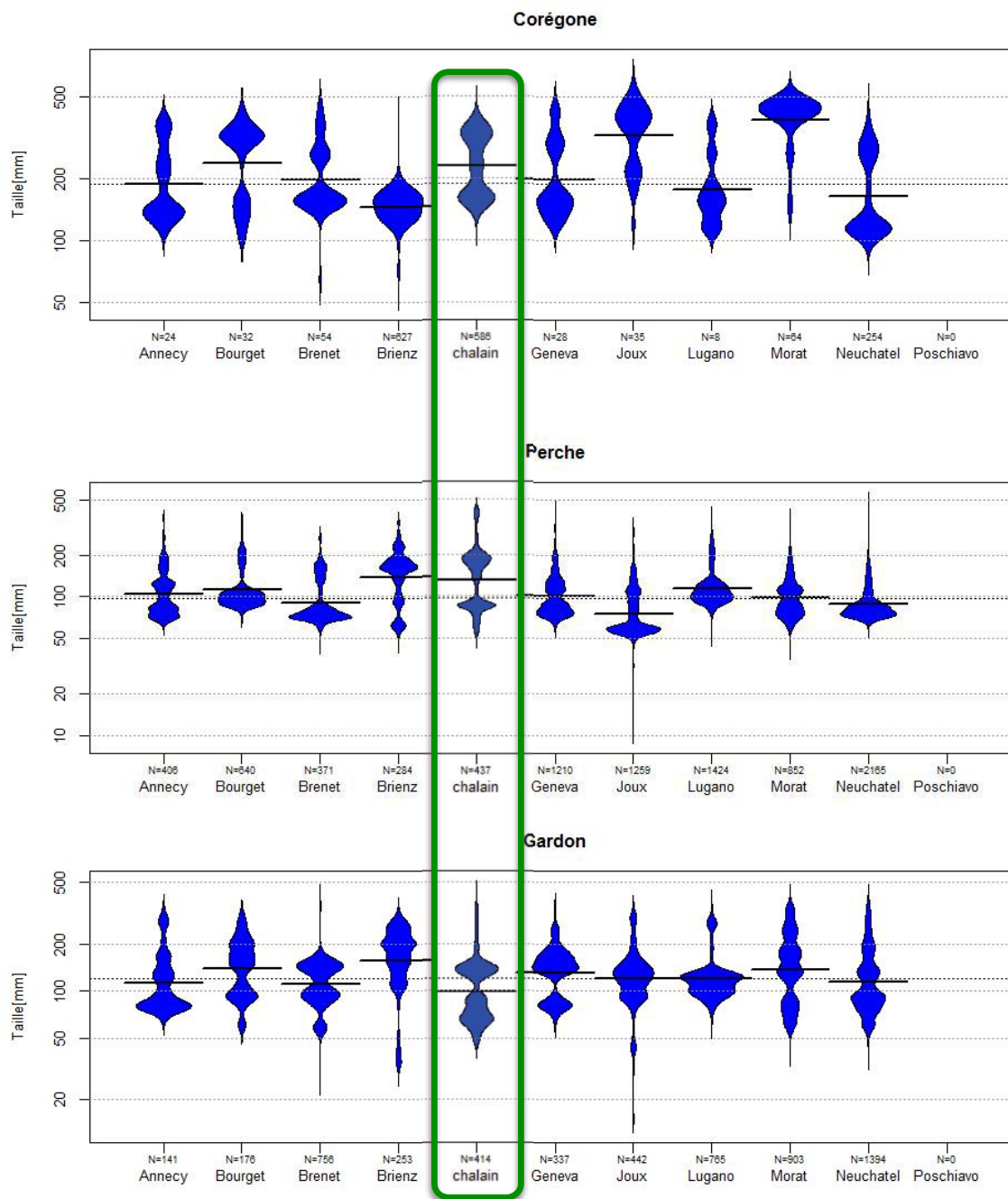


Figure 31 : comparaison de la répartition des tailles des corégones, perches et gardons capturés dans le cadre du «Projet lac» par l'EAWAG

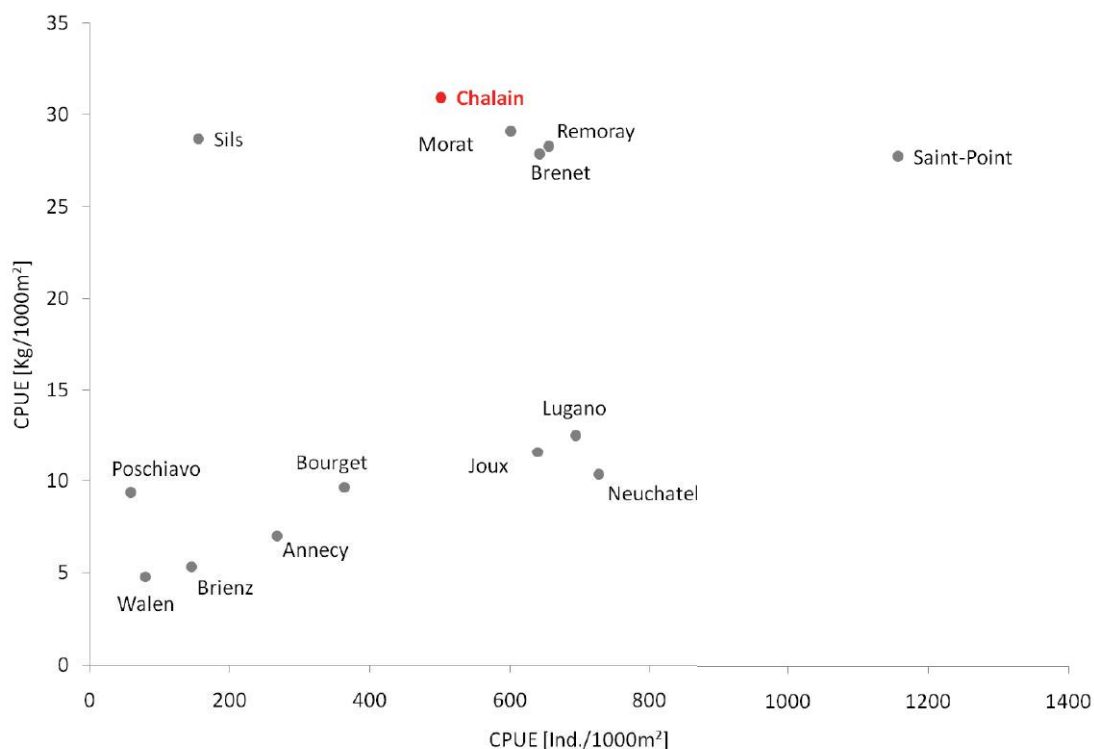


Figure 32 : comparaison des CPUE numériques et pondérales des différents lacs échantillonnés par l'EAWAG. Les données de Chalain correspondent à celles de 2011

La Figure 32 permet de voir que le lac de Chalain possède une CPUE numérique moyenne par rapport aux autres lacs. A l'inverse, sa **CPUE pondérale est la plus élevée de l'ensemble des lacs échantillonnés**. Ceci indique clairement que le **lac de Chalain est très productif**, la communauté piscicole constituant un des « compartiments » terminaux.

L'Annexe 11 confirme ces résultats et permet de s'apercevoir que le lac de Chalain présente des CPUE d'effectifs aux CEN benthiques supérieures par rapport à la moyenne des autres lacs échantillonnés, sauf dans la tranche littorale 0-3 mètres.

Tableau 12 : CPUE en truites lacustres pour les lacs de Chalain, de Brenet, de Joux et de Saint-Point. Source des données : EAWAG (Guy Périat et Pascal Vonlanthen)

		CEN benthique	CEN pélagique	Vertical benthique	Vertical pélagique	Pêche électrique
Ind/1000m ²	Brenet	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4
	Joux	0,7	1,0	0,0	0,8	0,0
	Saint-Point	0,0	0,0	9,0	0,0	0,2
	Chalain	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0
Gr/1000m ²	Brenet	0,0	0,0	0,0	0,0	32,6
	Joux	881,0	139,2	0,0	586,6	0,0
	Chalain	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0

On peut noter dans le Tableau 12 que les rendements de capture de truite lacustre dans le lac de Chalain par rapport à d'autres lacs échantillonnés de la même manière.

3.3.9 Comparaison historique

Un net avantage dans l'interprétation des données des échantillonnages réalisés en 2011 sur le lac de Chalain est que nous disposons de données historiques de 1984 et de 2003. Ces données brutes figurent en Annexe 12.

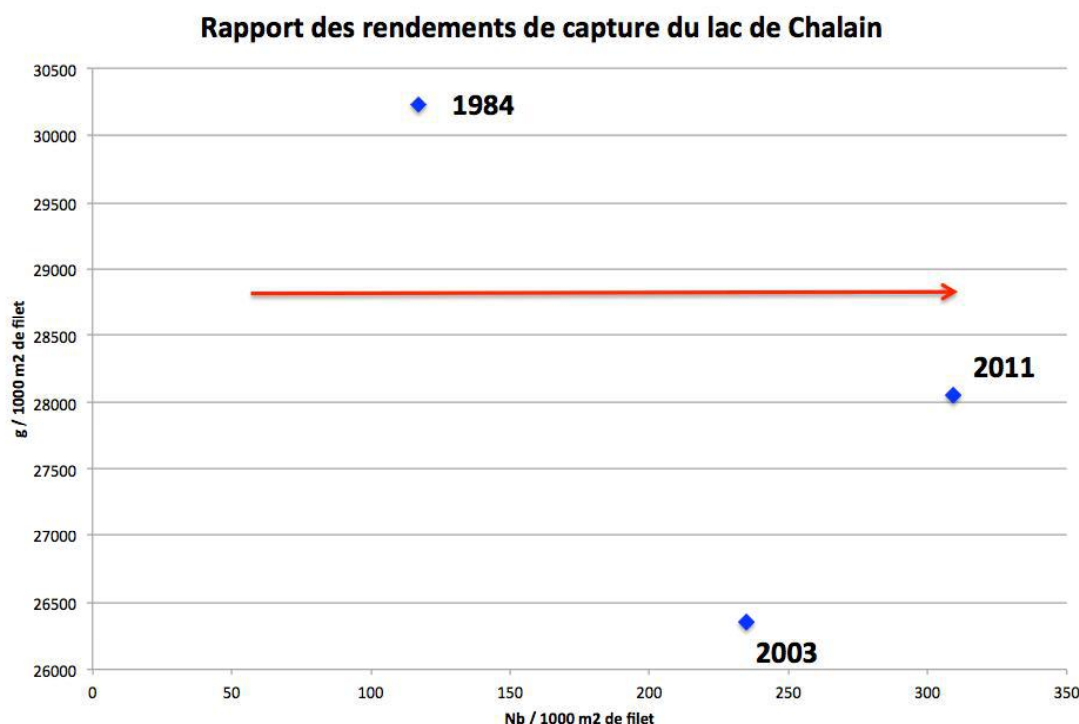


Figure 33 : évolution des CPUE globales entre les trois campagnes d'échantillonnage piscicole du lac de Chalain

La Figure 33 permet d'observer l'évolution diachronique des CPUE de l'ensemble des espèces capturées (densités numériques et pondérales). On peut d'abord observer des valeurs de CPUE pondérales restant dans une gamme de valeurs très proches. A l'inverse, les CPUE numériques font état d'une augmentation continue depuis 1984, avec un triplement de la valeur entre 1984 et 2011.

Tableau 13 : indices de Shannon des différentes campagnes

	1984		2003		2011	
	Nb/1000 m ² de filet	g/1000 m ² de filet	Nb/1000 m ² de filet	g/1000 m ² de filet	Nb/1000 m ² de filet	g/1000 m ² de filet
H'	1,82	2,50	1,76	2,43	2,02	2,62
Log2(R)	3,32	3,32	3,58	3,58	3,81	3,81

On peut voir dans le Tableau 13 que le peuplement piscicole a retrouvé en 2011 une composition relative entre espèces proche de celle de 1984, sans espèces particulièrement dominantes. Celle de 2003 semblait à l'inverse légèrement plus dominée par certaines espèces.

Il apparaît donc clairement que le lac de Chalain présente en 2011 des **rendements de captures importants**, indicateurs d'une **évolution de son métabolisme** et certainement de sa **productivité**. Cette évolution, à cette échelle de temps, constitue un **signal d'alarme d'un vieillissement prématuré du lac**.

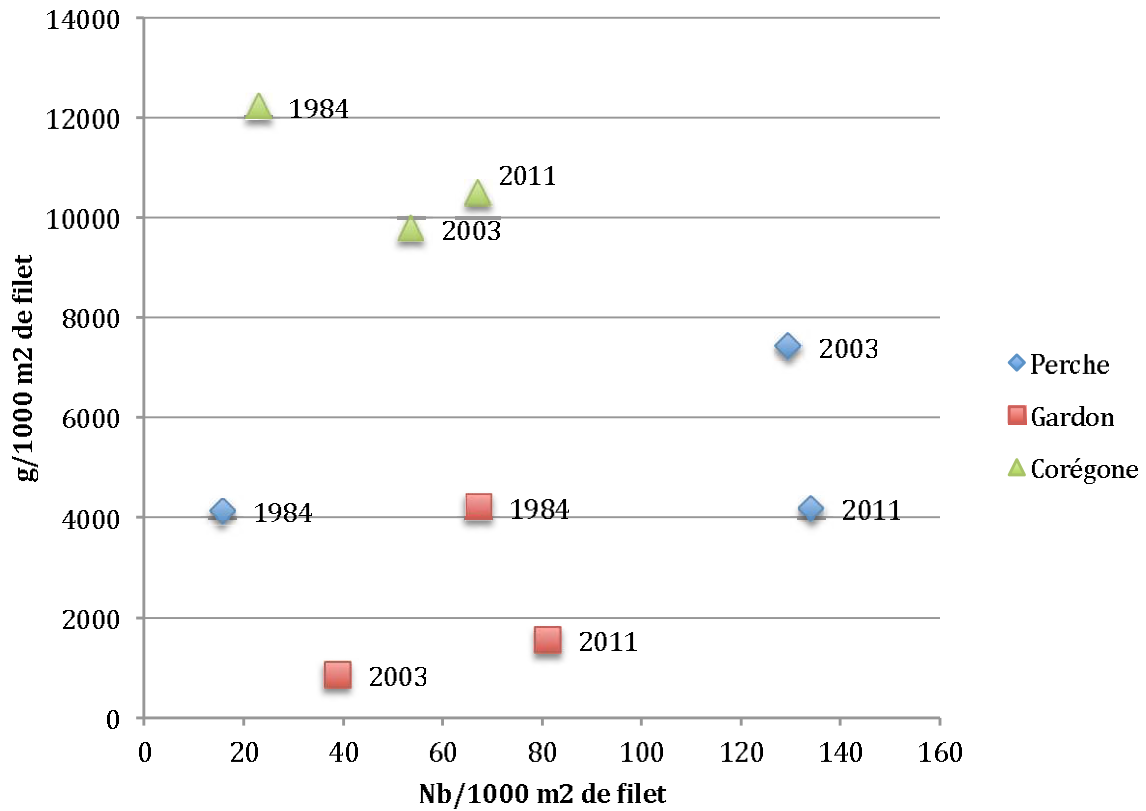


Figure 34 : évolution des CPUE de la perche, du gardon et du corégone entre les trois campagnes d'échantillonnage piscicole du lac de Chalain

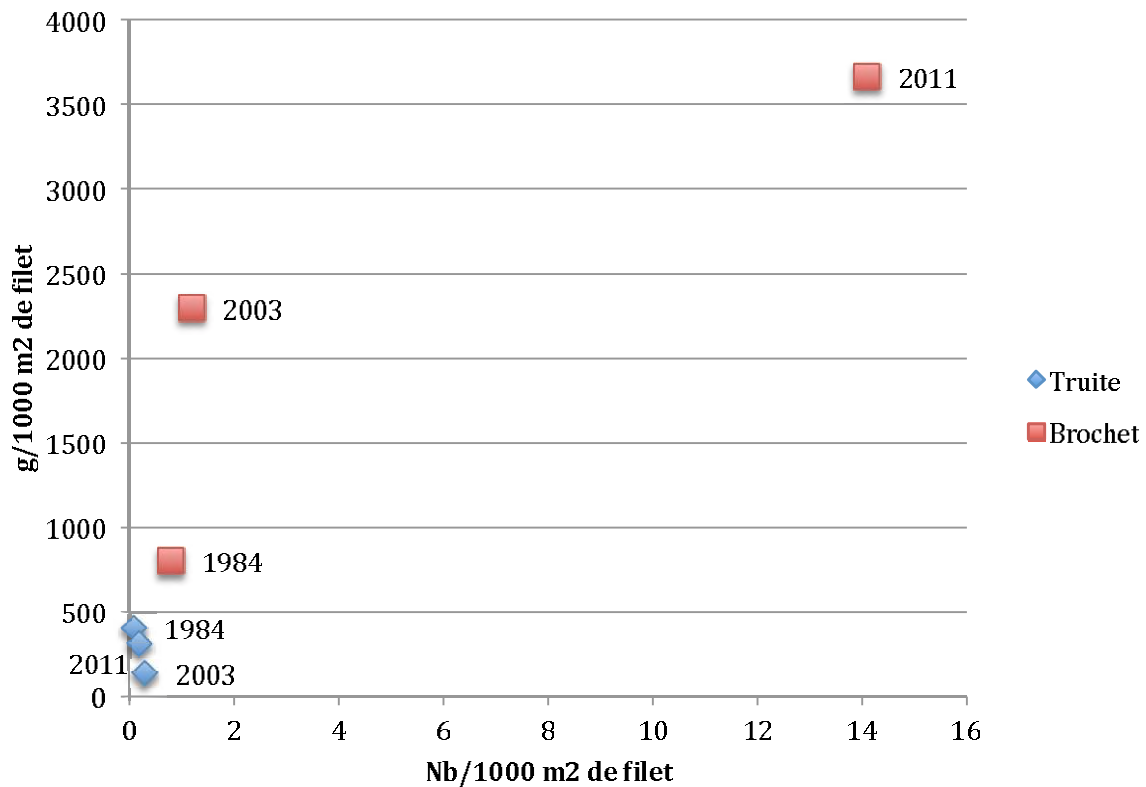


Figure 35 : évolution des CPUE de la truite fario et du brochet entre les trois campagnes d'échantillonnage piscicole du lac de Chalain

La Figure 34 et la Figure 35 montrent que ces augmentations des CPUE, notamment numériques, s’observent pour la perche, le gardon, le corégone, le brochet. La situation de la truite reste pour sa part dans la même ordre de grandeur, avec des valeurs très faibles. Le brochet fait état d’une amélioration nette. Toutefois, (Kreitmann, 1937) cite l’espèce la première par ordre d’importance, devant la perche et le gardon. Ceci permet de se représenter le très fort recul du brochet durant le XXème siècle malgré une légère tendance à l’amélioration depuis 1984.

3.3.10 Analyse de la campagne hivernale concernant les corégones

Une campagne d’échantillonnage complémentaire a été réalisée durant l’hiver 2011-2012 afin de préciser les modalités de la reproduction des corégones sur le lac de Chalain. Celle-ci s’est déroulée à travers 4 séries de pose de filets, le 5 et le 19 décembre 2011 puis le 5 et le 31 janvier 2012.

L’observation de la Figure 16 et de la Figure 18 montre que lors de la première pose, le lac n’avait pas engagé sa bascule hivernale. L’anoxie démarrait alors à 20 mètres de profondeur. Le brassage était en cours le 19 décembre, avec une désoxygénation totale encore visible à partir de 25 mètres de profondeur. Lors des deux échantillonnages suivants, ce processus était terminé.

La cote du lac était supérieure de 17 à 88 cm à la cote légale (488 mètres NGF) entre le 8 et le 31 décembre 2011. Nous ne disposons pas des données de 2012.

Tableau 14 : résultats des captures de corégones entre début décembre 2011 et fin janvier 2012 avec les profondeurs minimales et maximales des filets correspondants

Date	Effectif	Prof min	Prof max
05/12/11	3	9,8	10,6
19/12/11	2	0,5	1
	2	1	1,5
	4	1	2
	2	1	2
	1	9	10,5
05/01/12	2	1	2
	2	1	2
	1	2	2,5
	1	2	3
	10	9,5	11
	4	19	20
	1	29	29,5
31/01/12	1	1	2
	3	9	10,5
	3	21	20,3
	4	31	29

Il est possible d’observer dans le Tableau 14 que les prises de corégones augmentent à partir du 19/12/11, c’est-à-dire lorsque le brassage du lac est engagé. On observe également que les densités de poissons capturés en dehors de la frange littorale, notamment dans les zones profondes, n’augmentent qu’à partir du 05/01/12.

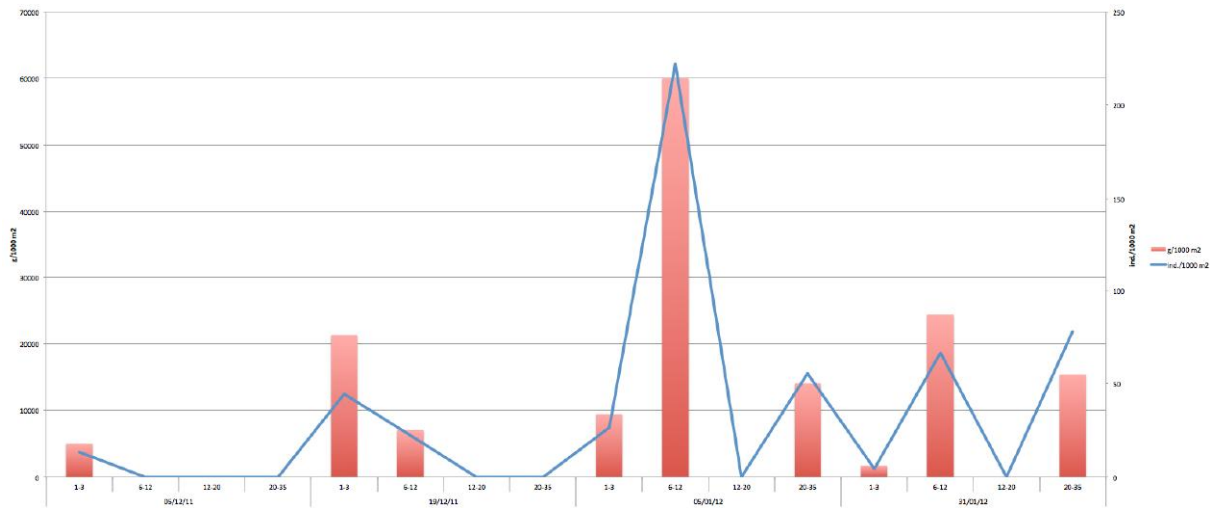


Figure 36 : évolution des CPUE numériques et pondérales en fonction des périodes d'échantillonnage et des tranches de profondeur prospectées

La Figure 36 confirme sous forme de CPUE ces premières observations réalisées sur les densités capturées brutes présentées dans le Tableau 14. On observe ainsi que la tranche profonde du lac n'est colonisée qu'à partir du moment où celle-ci a été réoxygénée, c'est-à-dire à partir du 05/01/12. Avant cet épisode, seule la frange littorale peut être utilisée pour la reproduction, ce qui est d'ailleurs rendu possible par le maintien de la cote du lac à un niveau adapté, ce qui a été le cas en 2011. Cette colonisation littorale est observée même après le brassage et ceci malgré la colonisation possible des secteurs de fond. On peut donc s'interroger sur une éventuelle reproduction séparée spatialement, avec certains individus se reproduisant en zone littorale et d'autres en zone pélagique, comme cela a pu être mis en évidence sur le lac de Neuchâtel (Vonlanthen et al., 2009).

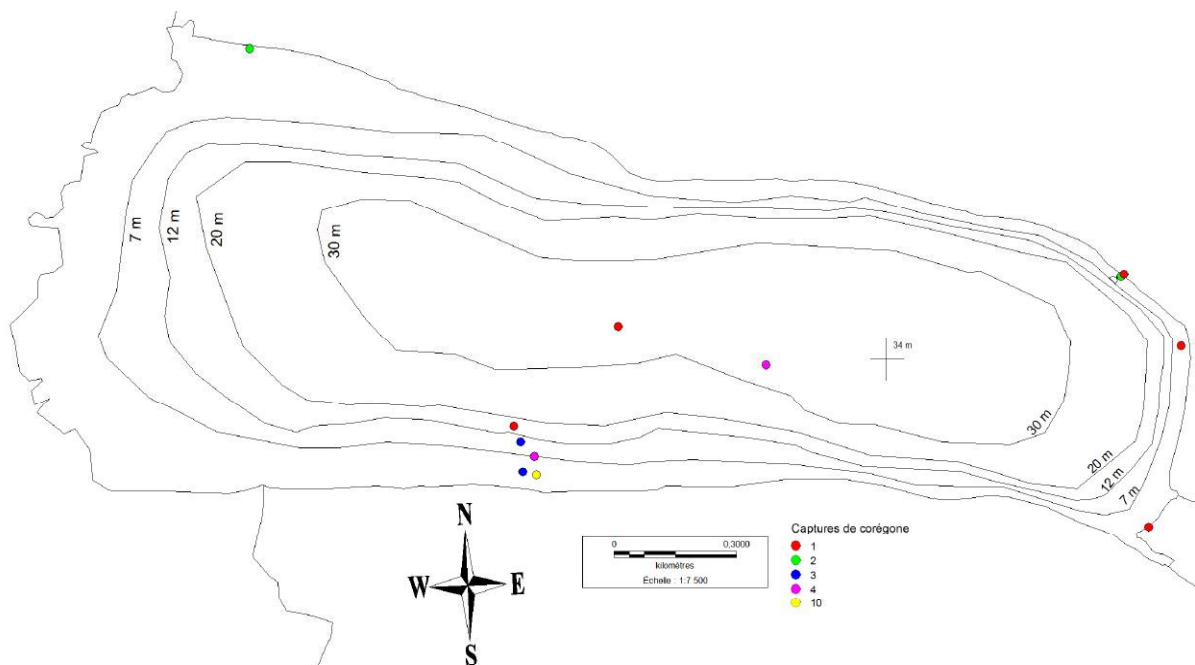


Figure 37 : répartition spatiale des captures de corégones réalisées sur le lac de Chalain le 5 et le 31 janvier 2012

Enfin, la Figure 37 permet de visualiser la localisation des filets posés à partir du 05/01/12 ayant capturé des corégones, avec les densités de capture correspondantes.

4. Synthèse

L'échantillonnage piscicole réalisé au cours de l'année 2011 sur le lac de Chalain a permis d'actualiser l'image de son peuplement. Il en ressort une augmentation continue de la biodiversité piscicole observée depuis 1937, puis en 1984 et en 2003, avec de légères variations de la composition du peuplement. Celui-ci reste toutefois nettement dominée par trois espèces repères que sont le corégone, la perche et le gardon. En détaillant certains indicateurs clés, on s'aperçoit en premier lieu que les structures de ces trois espèces sont robustes et équilibrées, avec par ailleurs d'importantes abondances de poissons de belle taille. On observe également un rôle majeur de certains habitats végétaux et minéraux dans les rendements de capture, confirmant leur rôle structurant et essentiel d'habitats aquatiques variés. Il est nécessaire de noter la quasi absence de captures à des profondeurs supérieures à 21 mètres malgré un effort d'échantillonnage similaire. Enfin, l'augmentation des rendements de capture tant numériques que pondéraux et certainement de la productivité entre 2003 et 2011 est un signal très fort. Ceci laisse supposer une accélération franche de la circulation des nutriments du lac, et donc un vieillissement accéléré.

Ces constats biologiques sont à confronter à des indicateurs mésologiques. En premier lieu, la forte augmentation des valeurs de conductivité, de l'ordre de 20 % entre 1984 et 2011, permet d'affirmer des apports supplémentaires en ions dans le lac. Différentes données font également état d'assez fortes augmentations des concentrations en phosphore dans l'eau et surtout dans les sédiments. L'origine des isotopes azotés présents dans les poissons de certains lacs jurassiens parmi lesquels Chalain sont fortement corrélés au taux d'anthropisation des surfaces de leurs bassins versants respectifs (Borderelle et al., 2009). Les sédiments du lac de Chalain font état d'un enrichissement notable en matière organique. Ce point conduit à une forte activité de dégradation bactérienne de la matière organique, disproportionnée selon plusieurs indicateurs par rapport à la productivité naturelle du lac. Ceci induit une très forte consommation en oxygène, ce qui permet d'expliquer les très forts déficits en oxygène à partir de 20 mètres de profondeur observés en fin de période estivale et jusqu'à mi-décembre. Ces différents éléments traduisent une évolution du statut trophique du lac vers un métabolisme plus soutenu, qualifié d'eutrophe.

Ces différents éléments concernant la qualité physico-chimique du lac sont à interpréter sous l'éclairage de l'évolution physique du lac. Ainsi la gestion réalisée à des fins de production hydroélectrique du niveau du lac est assez bonne mais reste perfectible. Ainsi, la cote réglementaire doit systématiquement être atteinte, et le niveau du lac devant fluctuer naturellement au-dessus et non en-dessous comme c'est souvent le cas sur les données dont nous disposons. De plus, les nombreuses atteintes aux milieux physiques littoraux propices aux espèces piscicoles observées ces dernières années ne font que dégrader un peu plus les rares habitats biogènes relictuels. Ce point est également à relier au mauvais état physique des affluents, régulièrement dégradés encore à l'heure actuelle, et à l'absence de continuité écologique entre le lac et affluent de la rive Est. Ceci bloque toute tentative de fraie de la truite lacustre notamment. Enfin, ces différentes altérations physiques ainsi que cette gestion perfectible du niveau du lac a des impacts sur les capacités d'autoépuration du lac, accentuant les problématiques chimiques détaillées précédemment.

La confrontation de l'ensemble de ces observations permet de dresser un portrait assez précis de l'état actuel du lac de Chalain. L'arrivée d'éléments nutritifs en quantités plus importantes que par le passé entraîne une évolution rapide (environ 30 ans) et marquée du métabolisme du lac. Celle-ci s'accompagne de différents constats anormaux tels qu'une anoxie sur plus du quart de la profondeur du lac en fin de période de stratification thermique ou une explosion de la productivité piscicole. Ce dernier point est d'autant plus remarquable qu'il s'observe parallèlement à une banalisation des habitats piscicoles, grevant d'autant le potentiel de développement de la faune piscicole. Ces différentes tendances sont donc fortes et lourdes et indiquent une évolution en cours du fonctionnement du lac de Chalain. Celle-ci est d'autant plus inquiétante qu'elle mènera rapidement le lac, si rien n'est fait, vers un nouvel état stable (Scheffer, 1990) qui posera certainement des problématiques encore plus importantes.

5. Perspectives

Face à ces constats, il est donc nécessaire d'engager un certain nombre d'actions (Kreitmann, 1937) destinées à améliorer les connaissances sur les causes d'évolution du lac de Chalain, mais surtout afin de tenter d'enrayer cette évolution engendrée par les activités humaines.

5.1 Éléments de compréhension

Il semble en premier lieu nécessaire d'acquérir certains éléments de connaissance afin d'améliorer la compréhension des phénomènes actuels en cours.

La majorité des précisions à acquérir concerne la nécessaire explication de l'augmentation des concentrations des nutriments observés dans le lac, notamment phosphorés. Pour cela, une **analyse de l'origine de ces matières organiques et nutriments** semble nécessaire. Elle pourrait notamment s'appuyer sur une étude précise de la composition physique (taille des particules) et chimique (nature et concentration des éléments) des sédiments (Kaushal et Binford, 1999) ainsi que sur la signature isotopique des nutriments (Peterson et Fry, 1987) (Borderelle et al., 2009). Cette caractérisation de l'origine des nutriments doit toutefois s'accompagner d'une étude plus globale de **l'évolution historique des pressions s'exerçant à l'échelle du bassin versant**, et notamment de l'évolution de l'occupation des sols (fermeture des milieux?) et des pratiques culturelles sur le bassin versant. Concernant les modes de gestion agricole, une partie du travail d'acquisition de connaissance sera réalisé à travers le contrat de rivière Ain amont. Cette analyse de bassin versant passe également par une vérification de la bonne qualité et du bon fonctionnement des systèmes d'assainissement, et notamment du collecteur ceinturant le lac. Les lacs jurassiens présentent un effet une grande sensibilité à une augmentation des entrées de nutriments, qu'il faut absolument éviter. C'est ce point qui semble à l'heure actuelle un des plus problématique pour le fonctionnement écologique du lac. De plus, un suivi annuel de paramètres physico-chimiques, consistant en la réalisation d'un **profil vertical** à l'aide d'une sonde multiparamètre **en fin de période de brassage** semble indispensable afin de suivre l'évolution de l'état du lac pour un coût très réduit.

La caractérisation du niveau de **contamination des sédiments par des molécules toxiques** serait très judicieux afin d'évaluer leur impact potentiel sur les êtres vivants.

Ce type d'étude a été réalisée sur le grand lac de Clairvaux par exemple (Crini et al., 2008).

Il serait également intéressant d'**actualiser la bathymétrie** du lac. Ceci permettrait en premier lieu de créer un point en comparaison à l'heure actuelle, ce dont nous ne disposons plus depuis (Delebecque, 1898). Il serait ensuite intéressant de réaliser une comparaison entre ces deux bathymétries afin d'étudier une éventuelle évolution, par comblement notamment. Il semble également nécessaire de réaliser un travail de recherche au sein des archives afin d'expliquer le différentiel altitudinal observé entre les données actuelles et celles évoquées par (Kreitmman, 1937).

Le renouvellement du **suivi piscicole** qui a été réalisé au cours de cette étude est nécessaire après 5 ans, soit en 2016, à la vue de la dynamique d'évolution dans laquelle se trouve le lac. Il serait également très pertinent de réaliser une nouvelle évaluation de la qualité de la **faune benthique** du lac avec le protocole IBL (Verneaux et al., 2004), déjà utilisé sur le lac de Chalain avec le même objectif en 1995 et en 2006.

Enfin, la **lecture des otolithes** des têtes de corégone **fluoromarkés** serait intéressante afin d'estimer la contribution des empoisonnements dans la population totale de l'espèce dans le lac de Chalain. Ce travail déjà réalisé sur le grand lac de Clairvaux a montré un impact nul de ces introductions dans le panier du pêcheur, tandis que la situation inverse a été observée sur le lac des Rousses. La question mérite donc d'être posée pour le lac de Chalain.

5.2 Éléments d'action et/ou de restauration

Il semble également nécessaire de mettre en œuvre un certain nombre d'actions concrètes de gestion et/ou de restauration de la qualité des milieux et de certains espaces du bassin versant.

Une des principales problématiques mise en évidence concernant le lac de Chalain est une évolution de son statut trophique certainement en lien avec une évolution des apports. **L'évolution des pratiques culturelles** vers l'utilisation de lisier plutôt que de fumier observée sur le versant Ouest du lac, drainé par plusieurs affluents du lac est liée à un mode de gestion qu'il serait très pertinent de faire évoluer. En effet, ce type de pratique aux abords du lac semble peu compatible avec un objectif de préservation de la qualité de ce milieu. Ceci devra faire l'objet d'une réflexion avec la chambre d'agriculture à l'échelle de l'ensemble du bassin versant, ou a minima d'un périmètre rapproché du lac. Ce volet de gestion incitatif doit s'accompagner d'un volet réglementaire efficace et dissuasif en lien avec l'ONEMA, la DDT et la DREAL.

L'autre problématique importante mise en évidence au cours de ce diagnostic est celle de la dégradation des habitats aquatiques. Afin de tenter d'améliorer ce point, différents éléments peuvent être proposés. Le premier concerne **la gestion** qui est faite **du niveau du lac** à des fins de productions hydroélectriques. L'arrêté préfectoral d'exploitation prévoit des niveaux réglementaires en fonction de la saison (Préfecture du Jura, 1995). L'analyse réalisée plus haut montre que ces niveaux sont globalement respectés, mais avec de légères oscillations fréquemment en-deçà des cotes légales. Une gestion plus souhaitable serait de maintenir ces oscillations à des niveaux supérieurs aux cotes légales, ce qui mettrait plus d'habitats aquatiques en eau.

Se pose également la question des **dates de changement du niveau** qui ne sont pas totalement optimales par rapport aux périodes de reproduction des poissons. Ce point était déjà évoqué par (Morillas, 2000). Il semble effectivement que le changement de cote fixé au 20 mai soit trop précoce, et gagnerait à être autour du 15 juin. Il faudrait en conséquence décaler d'autant la date de passage au niveau haut (entre le 5 et le 15 octobre). On pourrait enfin envisager «une modulation des niveaux consistant en l'atteinte du niveau haut en deux paliers : la cote 487,6 NGF pourrait être maintenue jusqu'au mois de janvier ou début février avant d'atteindre le niveau 488 NGF permettant aussi de préserver au mieux la végétation herbacée sur les frayères les plus favorables, situées dans de faibles profondeurs ».

L'occupation des sols du pourtour du lac a été bouleversée depuis les années 60, avec l'installation progressive de très nombreuses infrastructures de tourisme. Cette évolution, bien que moins marquée à l'heure actuelle, s'observe toutefois encore avec notamment un certain nombre **de travaux à vocation touristique et autre sans autorisation** au titre de la loi sur l'eau, grevant d'autant les rares milieux encore fonctionnels. On note également un piétinement de certaines pelouses en bordure de plages par exemple. L'arrêt de ces nombreuses perturbations insidieuses est indispensable. Cela peut par exemple passer par une **protection totale des espaces/habitats** ayant encore un fonctionnement sub-naturel avec des délimitations nettes des espaces à vocation touristique et des espaces naturels à protéger, comme cela peut être le cas pour les secteurs archéologiques ou comme peut le faire le Conservatoire du Littoral. Ceci passe également par le respect de la législation en vigueur concernant les travaux en milieu aquatique, sous le régime de la loi sur l'eau.

Face à cette importante dégradation des milieux naturels de bordure du lac, une politique ambitieuse de reconquête de la qualité et de la surface de ces milieux doit être entreprise. Ceci passe d'abord par des actions de réouverture de certains secteurs de bordure afin de rétablir une végétation herbacée non ligneuse, permettant la stabilisation des berges, l'auto-épuration naturelle des eaux et qui est favorable à la faune et à la flore (zones herbacées des marnes par exemple). D'une manière plus ambitieuse encore, **l'ensemble des affluents doit faire l'objet d'une restauration physique**, afin d'améliorer les capacités biologiques, de résilience et d'auto-épuration de ces systèmes, des zones humides associées et du lac avec lesquels elles fonctionnent. Cette amélioration de la qualité physique des affluents passe également par le **rétablissement de la continuité écologique** de ceux-ci, et notamment de l'affluent rendu infranchissable par un busage d'une centaine de mètres sous le passage de la route menant au camping du domaine de Chalain. Ceci implique une restauration complète du cours d'eau sur ce linéaire, et donc la destruction de l'équipement actuel, la remise à ciel ouvert du linéaire, la récréation d'un lit et l'installation d'un ouvrage de franchissement pour les véhicules. L'autre affluent équipé d'un seuil n'est toutefois pas à négliger. Ceci permettrait d'apporter, au-delà d'indiscutables bénéfices écologiques, une importante amélioration de la qualité paysagère du secteur. Cette phase doit être appréhendée de manière coordonnée avec les différents niveaux du lac afin que la continuité soit maintenue tout au long de l'année (Gillet, 2001).

Enfin et surtout, le lac de Chalain et les actions, études et activités ayant cours sur sa surface mais également sur l'ensemble de son bassin versant, doivent faire l'objet d'une **action concertée et coordonnée**. Ceci doit donc passer par un comité de gestion.

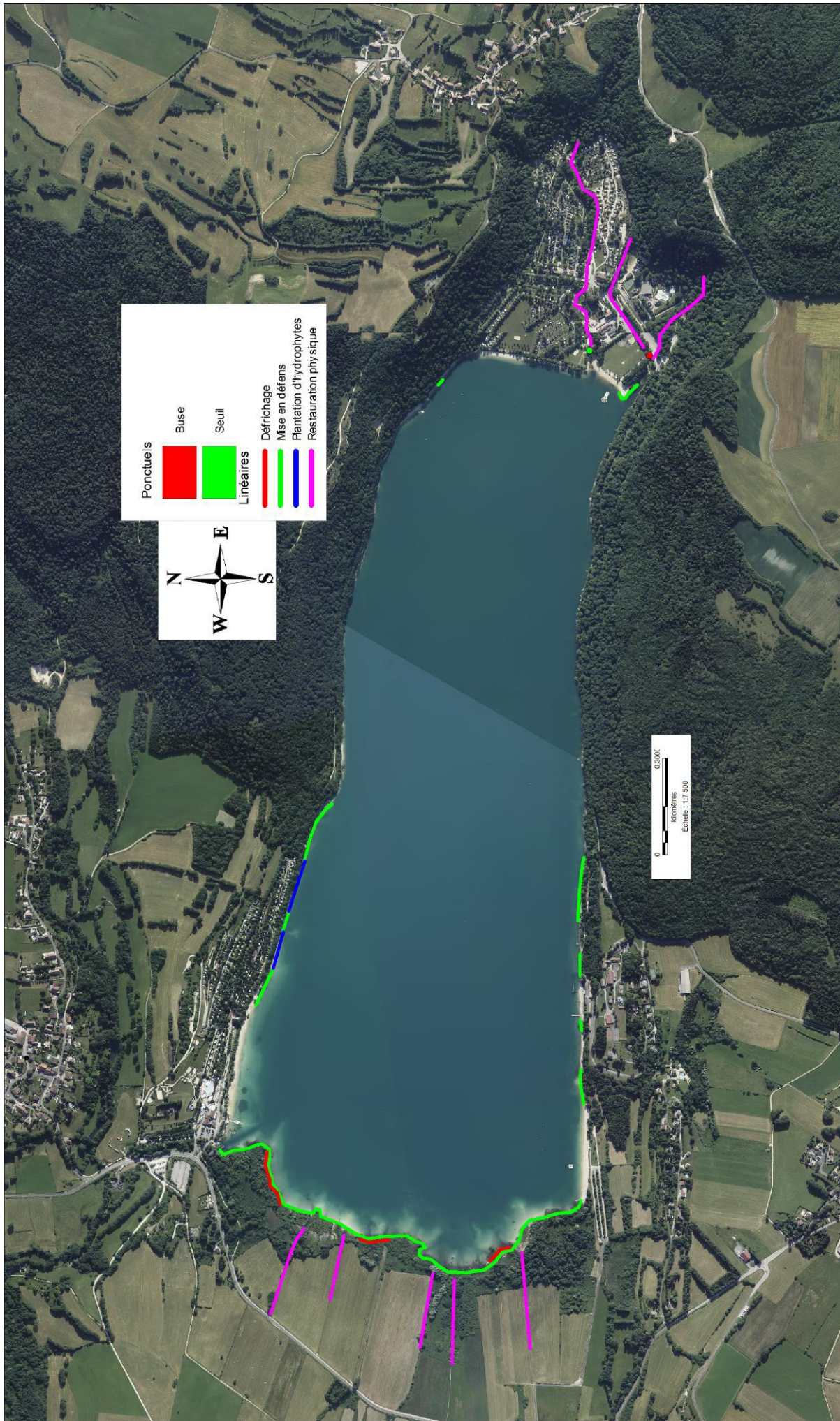


Figure 38 : répartition spatiale de certaines propositions d'actions de restauration physique

5.3 Programme d'action

Objectif	Action	Phase opérationnelle	Coût approximatif
Préciser l'origine des nutriments présents dans le lac	Évolution des apports en nutriments	Diagnostic de l'évolution des pressions sur le BV	15000 €
	Origine des nutriments	Caractérisation chimique fine	?
	Qualité du réseau d'assainissement	Diagnostic de la qualité des réseaux	?
Réaliser un suivi annuel global simplifié	Suivi physico-chimique annuel basique	Profil vertical à l'aide d'une sonde multiparamètre	500 €
Déterminer le potentiel toxique des sédiments	Caractérisation des contaminations toxiques des sédiments	Analyses fines de sédiments superficiels	?
Déterminer l'évolution de la forme de la cuvette lacustre	Évolution de la bathymétrie	Échosondage complet du lac	1000 €
Mettre à jour les données biologiques	Suivi des peuplements piscicoles	Même méthodologie que celle utilisée dans cette étude	60000 €
	Suivi des peuplements macrobenthiques	Réalisation d'un IBL	20000 €
Évaluer l'apport des empoisonnements de corégones dans la population naturelle	Lecture des otolithes récoltés lors de piscicole		5000 €

Objectif	Action	Phase opérationnelle	Coût approximatif
Comprendre et améliorer la gestion des pratiques et des apports en fertilisants agricoles	Acquisition de données sur les modes de conduite agricole actuels et passés	Enquête de terrain	?
	Gestion des apports organiques agricoles	Action concertée entre la chambre d'agriculture et les services de l'état	-
Réduire les impacts liés au marnage du lac	Gestion du niveau du lac	Modification éventuelle de l'arrêté préfectoral Modification des pratiques de l'usine hydroélectrique d'EDF	-
Préserver les quelques espaces naturels relictuels	Délimitation et mise en défens		100 € / mètre linéaire
	Application stricte des réglementations en vigueur	-	-
Favoriser la végétation herbacée	Maintien d'une végétation de bordure herbacée	Coupe sélectionnée de pousses de ligneux	Possibilité de réalisation par les gardes fédéraux
		Abatage d'arbres en zone non anthropisée	100 € / arbre
Restaurer la connectivité et l'attractivité des affluents	Restauration physique des affluents Mise en continuité de l'affluent de la route du Domaine	Étude préalable	35000 €/affluent
		Travaux	100000 €/affluent
		Étude préalable	20000 €
Gérer le lac de manière concertée	Création et animation d'un comité de gestion	Travaux	75000 €
			-

6. Bibliographie

AFNOR. *NF EN 14757 T90-366 : Qualité de l'eau – Échantillonnage des poissons à l'aide de filets maillants*. 2005.

Agence de l'eau RMC. *Suivi des plans d'eau des bassins Rhône-Méditerranée et Corse en application de la Directive Cadre sur l'Eau (Sites de Référence, Réseau de Contrôle de Surveillance et Contrôle Opérationnel) - Note synthétique d'interprétation des résultats - Chalain (39 : Jura) - Campagnes 2007*. [s.l.] : Agence de l'eau RMC, 2011a.

Agence de l'eau RMC. *Suivi des plans d'eau des bassins Rhône-Méditerranée et Corse en application de la Directive Cadre sur l'Eau (Sites de Référence, Réseau de Contrôle de Surveillance et Contrôle Opérationnel) - Note synthétique d'interprétation des résultats - Chalain (39 : Jura) - Campagnes 2010*. [s.l.] : Agence de l'eau RMC, 2011b.

Anonyme. *Corégones - Résultats des lectures d'âge faites sur les écailles prélevées lors des pêches de mars 2000 aux lacs Chalain et d'Ilay*. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la pêche et la protection du milieu aquatique, 2000.

Borderelle A.-L., Gerdeaux D., Giraudoux P., Verneaux V. « Influence of watershed's anthropogenic activities on fish nitrogen and carbon stable isotope ratios in nine French lakes ». *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystem*. 2009. n°392, p. 1-13.

Bourgeot F., Olivetto A., Prompt P. *Etude paléolimnologique sur 8 lacs du district Rhône-Méditerranée - Mise en place d'éléments de référence pour les lacs des 9 Couleurs, d'Anterne, de Chalain, de Lauvitel, Nègre, de Remoray, du Vallon et de Vens 1er*. Lyon : Agence de l'eau RMC, 2008.

Bruslé J., Quignard J.-P., Imbert C. *Biologie des poissons d'eau douce européens* [En ligne]. Londres ; Paris ; New York : Tec & Doc, 2001. 625 p. (Collection Aquaculture-pisciculture, ISSN 1627-8623). Disponible sur : < <http://www.sudoc.fr/05919684X> > (consulté le 3 juillet 2012) ISBN : 2-7430-0440-1.

Bureau d'études S.T.E. *Etude des lacs du réseau de contrôle de surveillance du District Rhône-Méditerranée - Lac de Chalain - Qualité physicochimique (synthèse 2007) - Qualité hydrobiologique et hydromorphologique - Compte rendu des campagnes d'investigations de 2007*. [s.l.] : Agence de l'eau RMC, 2008.

Bureau d'études S.T.E. *Étude des plans d'eau du programme de surveillance des bassins Rhône-Méditerranée et Corse - Rapport de données brutes et interprétations - Lac de Chalain - Suivi annuel 2010*. [s.l.] : Agence de l'eau RMC, 2011.

Colon M., Guillard J. *Résultats de la campagne d'hydroacoustique sur le lac de Chalain (octobre 2003) : intercalibration filets verticaux - filets maillants norme suédoise*. [s.l.] : INRA - GISPE, 2004.

Crini N., Degiorgi F., Emo P., Rot V. *Analyse des contaminations métalliques du grand lac de Clairvaux en 2005-2006*. [s.l.] : APPMA Clairvaux les lacs, 2008.

CSP. *Mise en oeuvre du protocole filets verticaux sur le lac de Chalain (Jura) - Document préparatoire à l'ATEPPIL (du 24 au 26/03/2004)*. Lyon : CSP, 2004.

Dahlberg M. *Results of test fishing a lake in France with the Nordic standard method for sampling fish with multimesh gillnets - A preliminary report*. Stockholm : Swedish National Board of Fisheries, The Institute of Freshwater Research, 2004.

Degiorgi F., Grandmottet J. P., Chanteloube P., Pardon C., Rousselet A., Suat J. F., Vandelle J. P. « Relations entre la topographie aquatique et l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre : définition des modalités spatiales d'une stratégie de prélèvement reproductible ». *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* [En ligne]. 1993. n°329, p.199-220. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1993021> > (consulté le 13 mars 2013)

Degiorgi F., Grandmottet J.-P., Raymond J.-C., Rivier B. « Échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre : engins passifs et protocole de prospection - Exemple des filets maillants et emmêlants ». In : *Gestion piscicole des grands plans d'eau*. Paris : [s.n.], 2001. p. 151-181.

Degiorgi F. *Analyse de la variabilité spatio-temporelle des captures issues de la prospection standard à l'aide de filets verticaux du lac de Chalain (Jura) - Premiers éléments de comparaison avec le standard nordique - Perspectives d'allègement du protocole - Document provisoire préparatoire à l'ATEPPIL du 24 au 26/03/2004*. Besançon : Laboratoire de Biologie Environnementale de l'Université de Franche-Comté, 2004.

Delebecque A. *Les lacs français*. Typographie Chamerot et Renouard. Paris : [s.n.], 1898.

Dussart B., Fauré-Fremiet E. *Limnologie: l'étude des eaux continentales*. Paris, France : N. Boubée & Cie, 1992. 680 p.(Faunes et flores actuelles, ISSN 0768-2999, 1992)ISBN : 2-85004-067-3.

Gächter R., Meyer J. « The role of microorganisms in mobilization and fixation of phosphorus in sediments ». *Hydrobiologia* [En ligne]. 1993. Vol. 253, n°1, p.103-121. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1007/BF00050731> >

Gillet C. « Le déroulement de la fraie des principaux poissons lacustres ». In : *Gestion piscicole des grands plans d'eau*. Paris : [s.n.], 2001. p. 241-282.

Hofmann H., Lorke A., Peeters F. « Temporal scales of water-level fluctuations in lakes and their ecological implications ». *Hydrobiologia* [En ligne]. 2008. Vol. 613, n°1, p.85-96. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9474-1> > (consulté le 11 mars 2011)

Kaushal S., Binford M. W. « Relationship between C: N ratios of lake sediments, organic matter sources, and historical deforestation in Lake Pleasant, Massachusetts, USA ». *Journal of Paleolimnology*. 1999. Vol. 22, n°4, p. 439-442.

Keith P., Persat H., Feunteun E., Adam B., Geniez M. *Les poissons d'eau douce de France*. Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle ; Mèze : Biotope, 2011. 552 p.) : ill. en noir et en coul., 3 fac-sim., cartes, couv. ill. en coul. ; 25 cm + 1 cahier (31 p.(Inventaires [et] biodiversité [Texte imprimé]. - Paris : Muséum National d'Histoire Naturelle : Biotope Ed., [ca 2011]-). ISBN : 978-2-914817-69-1.

Kreitmman L. *Étude hydrobiologique et aménagement piscicole de trois lacs du Jura utilisés industriellement*. Grenoble : Imprimerie Allier père et fils, 1937.

Magnin D. A. *La végétation des lacs du Jura*. [s.l.] : [s.n.], 1904.

Morillas N. *Programme de Gestion Piscicole et de Restauration des Milieux Aquatiques du Jura - Lac de Chalain - Préconisation pour la gestion piscicole, l'entretien et la valorisation du milieu*. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la pêche et la protection du milieu aquatique - CSP, 2000.

NBCE. *Le Lac de Chalain (39) - Synthèse écologique*. [s.l.] : Conseil Général du Jura, 2008.
Peterson B. J., Fry B. « Stable isotopes in ecosystem studies ». *Annual review of ecology and systematics*. 1987. Vol. 18, p. 293–320.

Plivard P., Guichard L. *Convention entre le Département du Jura et Électricité de France concernant le lac de Chalain*. 1991.

Poupard L. *Inventaire général du patrimoine culturel - Centrale hydroélectrique de Chalain*. 2008.

Préfecture du Jura. *Règlement d'Eau pour l'usine hydroélectrique dénommée Chute de l'Ain sur la Rivière l'Oeuf à Marigny*. [s.l.] : [s.n.], 1995.

Renaud C. *Contrat de rivière Ain amont - Dossier sommaire de candidature*. Lons-le-Saunier : Conseil Général du Jura, 2012.

Scheffer M. « Multiplicity of stable states in freshwater systems ». *Hydrobiologia* [En ligne]. 1990. Vol. 200-201, n°1, p. 475-486. Disponible sur : < <http://dx.doi.org/10.1007/BF02530365> > (consulté le 14 juin 2012)

SRAE de Franche-Comté. *Le lac de Chalain : étude écologique*. Besançon : [s.n.], 1986.

Verneaux J., Verneaux V., Guyard A. « Classification biologique des lacs jurassiens à l'aide d'une nouvelle méthode d'analyse des peuplements benthiques I. Variété et densité de la faune ». *Annals of Limnology*. 1993. Vol. 29, p. 59-77.

Verneaux V., Verneaux J., Schmitt A., Lovy C., Lambert J.-C. « The Lake Biotic Index (LBI): an applied method for assessing the biological quality of lakes using macrobenthos; the Lake Châlain (French Jura) as an example ». *Ann Limnol.* 2004. Vol. 40, p. 1-9.

Vonlanthen P., Roy D., Hudson A. G., Largiader C. R., Bittner D., Seehausen O. « Divergence along a steep ecological gradient in lake whitefish (*Coregonus* sp.) ». *Journal of evolutionary biology*. 2009. Vol. 22, n°3, p. 498–514.

Wilhelm J.-M. *Arrêté réglementant les inventaires relatifs aux frayères et aux zones de croissance ou d'alimentation de la faune piscicole prévus à l'article R432-1-1 en application de l'article L432-3 du Code de l'environnement.* [s.l.] : [s.n.], 2012.

Annexes

Annexe 3 : cartographie des pôles d'attraction dominants sur le lac de Chalain - Octobre 2003



Annexe 4 : évolution de la répartition spatiale des différents habitats entre 2003 et 2011

	2003	2011
Afférence	0,1%	0,2%
Substrats artificialisés	0,0%	0,1%
Blocs	0,8%	0,3%
Branchages	0,8%	0,3%
Dalles	0,0%	0,1%
Efférences	0,1%	0,1%
Fonds nus minéraux	4,7%	8,0%
Galets	0,0%	0,4%
Mélange de galets-graviers	0,7%	0,5%
Hélophytes	1,1%	1,6%
Hydrophytes	0,0%	0,0%
Hydrophytes immergés	0,5%	0,6%
Sable	0,0%	0,4%

Annexe 5 : vue détaillée de la carte d'état major (1820-1866) du lac de Chalain et notamment du cadastre napoléonien de sa rive Est



Annexe 6 : valeurs brutes de température

Profondeur	21/09/11	06/12/11	19/12/11	06/01/12	31/01/12
0	19,8	10,2	7,0	8,0	5,4
1	19,6	10,2	7,0	8,0	5,5
2	19,3			8,0	
3	19,2	10,3	7,0	7,9	5,5
4	19,2			7,9	
5	19,1	10,3	7,0	7,9	5,5
6	19,1			7,9	
7	18,9	10,3	7,0	7,9	
8	15,8			7,9	
9	12,7			7,9	
10	9,9	10,4	7,0	7,9	5,5
11	8,6				
12	7,5			7,8	
13		10,0			
14	6,4	10,3		7,8	
15		10,3	7,0		5,5
16	5,9	8,7		7,8	
17		7,8			
18	5,6	7,7		7,8	
19		7,5			
20	5,4	7,2	6,9	7,8	5,4
21			6,9		
22	5,3		6,8	7,8	
23			6,6		
24	5,2		6,3	7,8	
25		6,9	5,9		5,4
26	5,1		5,7	7,8	
27			5,6		
28	5,1	6,8	5,5	7,8	
29					5,4
30	5,0		5,5	7,8	
31	5,0		5,5		

Profondeur	sept-84	23/10/03	25/09/06	12/09/07	15/09/10	21/09/11
0	15	13,2	19,4	19,5	18,9	19,8
1	15	13,2	19,3		18,8	19,6
2	15	13,3	19,4	19,1	18,8	19,3
3	15	13,3	19,4		18,7	19,2
4	15	13,2	19,4	19,2	18,6	19,2
5	15	13,2	19,4		18,4	19,1
6	15	13,2	19,7	19,1	17,8	19,1
7	15	13,2	15,9		16,8	18,9
8	15	13,2	14	15,8	15,4	15,8
9	15	13,2	11,6		13,1	12,7
10	14,5	12,7	9,4	11,4	12,2	9,9
11	13,5	12,1	8,2		10,5	8,6
12	12	10,8	7,2	9,5	9,5	7,5
13	11	9	6,5		8,8	
14	10	7,8	6,2		8,5	6,4
15	9	7,1	6	9	8,4	
16	8	6,7	5,8		8,3	5,9
17	7,5	6,4	5,6		8,3	
18	7,5	6,3	5,6		8,2	5,6
19	7	6,2	5,4		8	
20	7	6,1	5,4	8,9	8	5,4
21	6,5	6	5,3			
22	6,5	6	5,3			5,3
23	6	5,9	5,2			
24	6	5,8	5,2			5,2
25	6	5,7	5,2	8,5	7,9	
26	6	5,7	5,1			5,1
27	6	5,7	5,1			
28	6		5,1			5,1
29	6		5,1			
30	6		5,1	8,7	7,9	5,0
31	6					5,0

Annexe 7 : valeurs de concentration et de saturation en oxygène

Profondeur (mètres)	O2(%)				O2(mg/l)				
	21/09/11	19/12/11	06/01/12	31/01/12	21/09/11	06/12/11	19/12/11	06/01/12	31/01/12
0	103,0	70,0	75,1	74,3	8,8	10,0	7,9	8,4	8,7
1	103,0	69,6	74,1	74,0	8,9	9,9	7,7	8,4	8,4
2	105,0		73,7		8,9			8,3	
3	101,0	68,2	72,0	73,8	8,7	9,9	7,6	8,1	8,3
4	103,0		69,8		9,0			7,9	
5	107,0	67,7	69,6	72,5	9,2	9,8	7,5	8,0	8,4
6	106,0		70,0		9,2			7,8	
7	114,0	69,5	69,0		9,9	9,8	7,5	7,8	
8	142,0		68,3		13,0			7,6	
9	129,0		67,0		13,2			7,7	
10	118,0	67,5	67,0	71,1	12,4	9,5	7,5	7,62	8,2
11	90,0				9,9				
12	64,0		66,0		7,0			7,45	
13						9,3			
14	38,0		64,7		4,2	9,2		7,27	
15		64,0		69,6		8,9	7,3		8,0
16	17,0		63,5		2,0	4,14		7,14	
17						1,4			
18	10,0		62,7		1,3	1,2		7,1	
19						1,1			
20	4,0	61,8	63,3	69,0	0,5	0,0	6,8	7,1	7,9
21		57,6					6,4		
22	0,0	50,0	62,0		0,0		5,5	7,0	
23		23,0					2,7		
24	0,0	14,9	61,7		0,0		1,69	7,0	
25		8,3		67,4		0,0	0,93		7,8
26	0,0	0,0	60,8		0,0		0,0	6,9	
27		0,0					0,0		
28	0,0	0,0	59,8		0,0	0,0	0,0	6,8	
29									7,57
30	0,0	0,0	59,6	65,0	0,0		0,0	6,7	
31	0,0	0,0			0,0		0,0		

Profondeur (mètres)	23/10/03	25/09/06	12/09/07	15/09/10	21/09/11	25/09/06	12/09/07	15/09/10	21/09/11
0	96	102,9	121	103	103,0	8,9	10,4	9,1	8,8
1	96	96,4		104	103,0	8,4		9,2	8,9
2	95	95,7	113	103	105,0	8,3	9,9	9,1	8,9
3	95	95,8		105	101,0	8,3		9,3	8,7
4	96	96,8	117	104	103,0	8,4	10,2	9,2	9,0
5	96	95,5		106	107,0	8,3		9,5	9,2
6	96	115,5	118	116	106,0	10,3	10,2	10,4	9,2
7	96	107,9		113	114,0	10,0		10,4	9,9
8	96	103,1	139	119	142,0	10,0	13,0	11,3	13,0
9	96	97,4		118	129,0	9,9		11,7	13,2
10	96	79,5	92	116	118,0	8,6	9,5	11,8	12,4
11	96	66,4		91	90,0	7,3		9,6	9,9
12	97	60,4	57	85	64,0	6,8	6,1	9,2	7,0
13	97	46,9		77		5,4		8,4	
14	95	40,8		72	38,0	4,8		8,0	4,2
15	93	35,2	35	67		4,1	3,8	7,5	
16	89	28,3		64	17,0	3,3		7,1	2,0
17	85	21,4		63		2,5		7,0	
18	81	19,6		59	10,0	2,3		6,6	1,3
19	76	16,7		49		2,0		5,5	
20	72	13,5	9	41	4,0	1,6	1,0	4,6	0,5
21	67	10,6				1,3			
22	63	8,8			0,0	1,1			0,0
23	59	5,2				0,6			
24	54	1,9			0,0	0,2			0,0
25	51	1	0	25		0,1	0,0	2,8	
26	46	0,8			0,0	0,1			0,0
27	42	0,7				0,1			
28		0,7			0,0	0,1			0,0
29		0,7				0,1			
30		0,7	0	21	0,0	0,1	0,0	2,4	0,0
31					0,0				0,0

Profondeur (mètres)	Sept 1978	Sept 1979	Sept 1980	Sept 1984
0	10,0	11,0	9,0	9,0
10	16,5	15,5	10,5	9,0
20	4,5	4,0	7,0	6,0
31	1,5	2,0	4,0	3,0

Annexe 8 : valeurs brutes de conductivité

Profondeur	21/09/11	06/12/11	19/12/11	06/01/12	31/01/12
0	244	275	301	311,0	312
1	243	275	300		312
2	243			311	
3	243	275	299		312
4	243			310	
5	243	275	299		312
6	244			310	
7	261	275	297,0		
8	298				
9	294				
10	304	275	299,0	309,0	312
11	309				
12	313			308	
13		276			
14	318	276		308,0	
15		278	299,0		312
16	319	327			
17		319			
18	321	320			
19		321			
20	321	322	299,0	308,0	312
21			299		
22	322		305		
23			307		
24	322		311	308,0	
25		327	315		312
26	323		318		
27			320		
28	326	330,0	321		
29					310
30	333		322	308	
31	337		322		

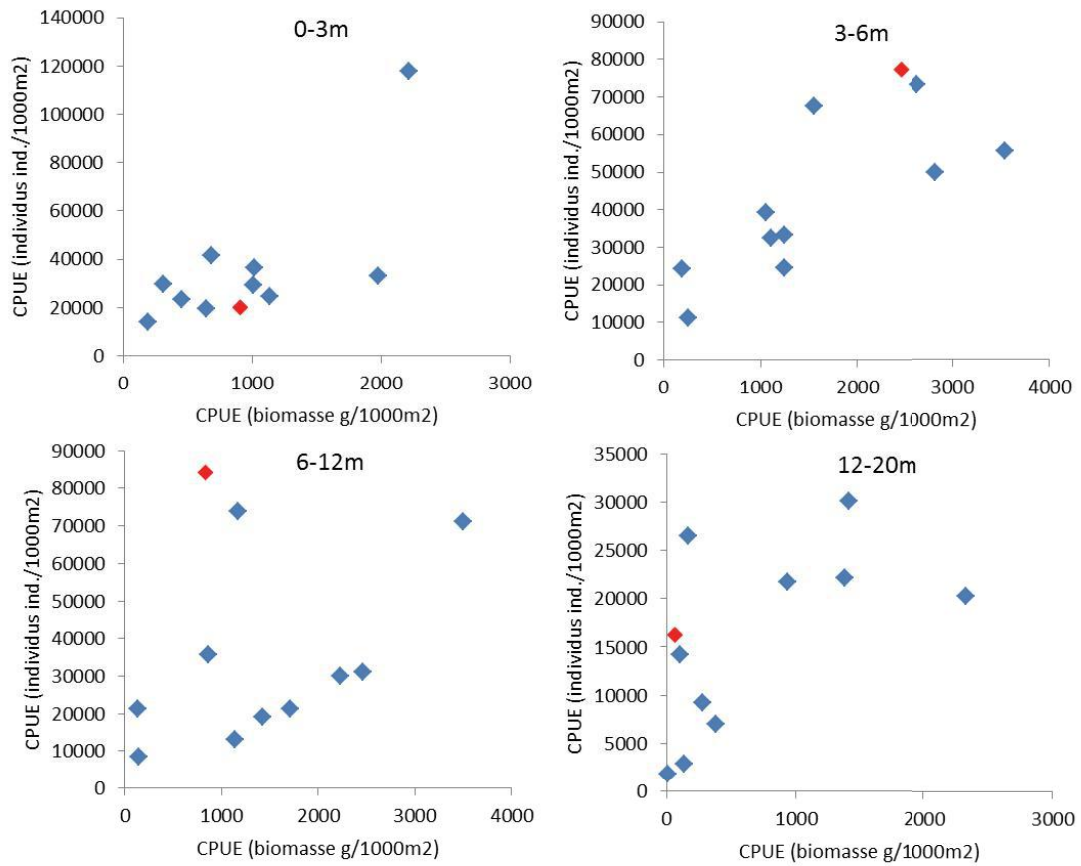
Annexe 9 : valeurs brutes de potentiel redox et de pH

21/09/11		
Profondeur	Redox	pH
0	78,0	8,3
1		8,3
2	77,0	8,3
3		8,3
4	80,0	8,3
5		8,3
6	81,0	8,3
7		8,3
8	87,0	8,1
9		8,1
10	94,0	8,1
11		8,1
12	100,0	8,0
14		7,7
16	105,0	7,6
18		7,6
20	104,0	7,5
22	104,0	7,5
24	104,0	7,4
26	105,0	7,4
28	-85,0	7,4
30	-190,0	7,4
31	-218,0	7,5

Annexe 10 : répartition par mode de capture, par espèce et par habitat des CPUE (Ind/1000m2 de filets ou de surface électrique pêché)

Engin	Espèce	Habitat									
		SAB	GAI	HFL	FF	GGR	BLO	ENM	BRA	HYD	HY
Electrique	Esox_lucius	0.00	9.09	30.77	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	14.29
Electrique	Lepomis_gibbosus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	222.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Electrique	Leuciscus_leuciscus	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electrique	Perca_fluviatilis	0.00	118.18	53.85	0.00	0.00	66.67	18.75	50.00	0.00	0.00
Electrique	Phoxinus_sp	0.00	0.00	0.00	60.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electrique	Rutilus_rutilus	0.00	0.00	953.85	0.00	0.00	11.11	0.00	300.00	0.00	0.00
Electrique	Salmo_trutta	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electrique	Scardinius_sp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	500.00	0.00	0.00
Electrique	Squalius_cephalus	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	0.00	0.00
Electrique	Telestes_souffia	0.00	0.00	0.00	140.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electrique	Tinca_tinca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
Electrique	Total	0.00	127.27	1038.46	280.00	0.00	300.00	25.00	950.00	0.00	14.29
Verticaux	Esox_lucius	35.71	8.93	21.43	7.14	0.00	0.00	0.00	20.41	0.00	0.00
Verticaux	Lepomis_gibbosus	0.00	0.00	0.00	7.14	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	0.00
Verticaux	Perca_fluviatilis	285.71	44.64	78.57	7.14	0.00	39.68	10.20	0.00	23.81	17.86
Verticaux	Rutilus_rutilus	107.14	169.64	28.57	7.14	8.93	95.24	51.02	0.00	0.00	17.86
Verticaux	Scardinius_sp	0.00	35.71	92.86	50.00	8.93	23.81	30.61	30.61	47.62	0.00
Verticaux	Squalius_cephalus	0.00	8.93	0.00	7.14	17.86	23.81	20.41	0.00	0.00	35.71
Verticaux	Tinca_tinca	0.00	0.00	21.43	7.14	8.93	0.00	10.20	20.41	11.90	35.71
Verticaux	Total	428.57	267.86	221.43	85.71	35.71	182.54	112.24	51.02	83.33	71.43

Annexe 11 : comparaison des CPUE (biomasse et nombre d'individus) des filets CEN benthiques du lac de Chalain (en rouge) avec d'autres lacs échantillonnés dans le cadre du «Projet lac» de l'EAWAG



Annexe 12 : CPUE des différents échantillonnages piscicoles réalisés en 1984, 2003 et 2011

Espèces	Nom latin	1984		2003		2011	
		Nb/1000 m2 de filet	g/1000 m2 de filet	Moyenne		Nb/1000 m2 de filet	g/1000 m2 de filet
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>			1	19		
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>	0,2	207				
Blageon	<i>Leuciscus souffia</i>			0,2	2	1	14
Brochet	<i>Esox lucius</i>	1	798	1	2297	4	1343
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>			0,3	143		
Chevesne	<i>Squalius cephalus</i>	1	1535	3	4043	2	1677
Corégone	<i>Coregonus sp</i>	23	12218	54	9776	67	10489
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	67	4208	39	862	81	1550
Goujon	<i>Gobio gobio</i>			0,3	5		
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	16	4122	130	7419	134	4180
Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	1	69			3	46
Rotengle	<i>Scardinius sp</i>	4	1985	8	2970	13	3544
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>					1	501
Spirilin	<i>Alburnoïdes bipunctatus</i>					0,1	1
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	4	4680	1	573	4	4387
Truite	<i>Salmo trutta</i>	0,1	402	0,3	139	0,2	310
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>					1	3
Vandoise	<i>Leuciscus leuciscus</i>					0,2	11
Total		117	30224	236	28247	309	28054