



Grand lac de Clairvaux (Jura)

Suivi piscicole

Identification de la contamination toxique

Jean-Baptiste Fagot
Fédération du Jura pour la Pêche
et la Protection des Milieux Aquatiques

Version finale
8 mars 2019

Remerciements

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

Nadège Pommier
Mehdi El Bettah
Philippe Mougin
Stéphane Pizzetti
Valéry Recouvreux
Serge Regad
Jean-Baptiste Fagot (rédacteur et rapporteur)

Bureau d'études Téléos et partenaires

Timothy Alexander
Hervé Décourcière
François Degiorgi
Jonathan Paris
Guy Périat
Daniel Schlunke
Pascal Vonlanthen

AFB

Anne-Laure Garnier-Borderelle

Laëtitia Munch
Manuel Barbier
Philippe Chanteloube
Pascal Compagnat
Guy Durand
Jean-Louis Garot
Éric Moreau
Jean-Claude Raymond
Bernard Vignon
Emmanuel Vilquin

Conseil Départemental du Jura

Claire Renaud
Jérémy Catteau

Agence de l'eau RMC

Valérie Paul
Sébastien Canault

Bénévoles

Les bénévoles de l'AAPPMA
« Les Pêcheurs Clairvaliens »
Valentin Essert



Le grand lac de Clairvaux est un lac naturel du département du Jura. L'objectif de ce travail est de mettre à jour les connaissances relatives à l'alimentation karstique, à la physico-chimie, aux habitats et à la faune piscicole de ce plan d'eau et de ses afférences, afin d'aboutir à des propositions d'actions et de gestion.

Les différentes opérations de suivi réalisées au cours des années 2015-2016 ont permis de mettre en évidence certains éléments :

- la confirmation par traçage hydrogéologique de la limite du bassin versant ;
- la persistance d'une contamination toxique à l'amont du Petit lac, ainsi qu'une autre au niveau de la Serra, affluent de la retenue de Vouglans ;
- une composition du peuplement piscicole suivant celle des précédents échantillonnages, avec une tendance à la dégradation à long terme ;
- une mauvaise gestion actuelle et un abaissement historique de la cote du lac, couplés à de nombreuses interventions, entraînant une détérioration physique des afférences ;
- ces dégradations tendent à réduire très fortement la diversité et l'attrait des habitats pour la biodiversité dans son ensemble et pour la faune piscicole en particulier.

Afin de restaurer le fonctionnement écologique de cet ensemble de milieux naturels (lac, tourbière, cours d'eau), il apparaît indispensable :

- d'engager un ambitieux programme de travaux de reconquête. Cette démarche doit passer par un éventail d'opérations complémentaires telles que la restauration de la cote historique du lac et des affluents, la résorption des contaminations toxiques et l'évolution de certaines pratiques et/ou d'aménagements de l'espace ;
- d'accompagner ces travaux par la mise en œuvre et/ou par la poursuite de mesures d'acquisition de connaissance, de suivi et de gestion concertée, afin de pouvoir en contrôler l'efficacité et les éventuelles limitations.

Table des matières

1	Résumé	4
2	Contexte et objectifs	7
2.1	Contexte	7
2.2	Objectifs	8
3	Principales observations	9
3.1	Peuplements piscicoles	9
3.1.1	Méthodes d'investigation	9
3.1.2	Évolution historique	13
3.1.3	Répartition	17
3.2	Étude des milieux	20
3.2.1	Alimentations karstiques	20
3.2.2	Morphologie des afférences	22
3.2.3	Cartographie de l'espace lacustre	24
3.2.4	Variations du niveau du lac	27
3.2.5	Contamination toxique des sédiments	34
3.2.6	Physico-chimie des eaux	38
4	États des lieux	40
5	Propositions d'action	43
5.1	Aménagement	43
5.2	Usages sur le bassin versant	44
5.3	Gestion	44
5.4	Suivi	44
5.5	Connaissance	45
5.6	Synthèse	46
6	Conclusion	48
7	Bibliographie	49

8 Annexes	58
.1 Paramètres statistiques calculés	59
.2 Niveau du Grand lac de Clairvaux	60
.3 Physico-chimie	62
.4 Informations techniques	63

Contexte et objectifs

2.1 Contexte

Selon le code de l'environnement, les Structures Associatives de Pêche de Loisir (SAPL) sont chargées de mettre en place un plan de gestion pour les eaux dont elles ont la charge en contrepartie 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 (*Directive 2000/60/CE Du Parlement Européen et Du Conseil Du 23 Octobre 2000 Établissant Un Cadre Pour Une Politique Communautaire Dans Le Domaine de l'eau 2003 - Loi 2006-1772 Du 30 Décembre 2006 Sur l'eau et Les Milieux Aquatiques 2006*).

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 (Contrats de rivière, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), programme européens Natura2000 / L'Instrument Financier pour l'Environnement (LIFE), etc.) contribuent à atteindre ces objectifs. Les exemples régionaux sont légions, ce qui réjouit nos fédérations locales : contrats de rivière Ognon, Dessoubre, Orain, Seille, Projet LIFE « Tourbières du Massif du Jura », ou encore « Ruisseaux de tête de bassin et faune patrimoniale 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 (AEP) par l'Agence Régionale de Santé (ARS), il n'en va pas de même de leur communauté biologique ni de leur qualité habitationnelle. Seules quelques mesures ponctuelles, pour l'essentiel issues des travaux de l'Université de Franche-Comté ou de l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB), 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.

Il faut également noter que l'application du suivi dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) sur les plans d'eau supérieurs à 50 hectares 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 hectares dont le droit de pêche est accordé à des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (AAPPMA) ou aux Fédérations Départementales des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FDAAPPMA) 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 Doubs : Les lacs de Remoray, Saint-Point et de l'Entonnoir.
- Département du Jura : les lacs de Clairvaux, Ilay, Chalain, Bonlieu, des Rousses et du Val.

Le présent document concerne le Grand lac de Clairvaux.

2.2 Objectifs

Le présent projet d'étude se fixe les objectifs :

- de réaliser un diagnostic de l'état de conservation des peuplements piscicoles du Grand lac de Clairvaux ;
- de préciser l'état et l'éventuelle origine des contaminations toxiques observées en 2011 à l'amont du Petit lac et entre les deux lacs ;
- de rédiger un programme d'actions hiérarchisées.

Ceci passe par la mise en place de différents sous-objectifs plus opérationnels :

- décrire l'état de conservation et l'évolution d'une communauté biologique intégratrice : les poissons,
- interpréter ces résultats à l'aide de paramètres mésologiques, ce qui implique :
 - d'étudier la qualité morphologique et habitationnelle,
 - d'étudier la qualité physico-chimique de l'eau,
 - d'évaluer l'évolution quantitative de la ressource en eau.
- évaluer l'état des contaminations toxiques arrivant dans le Petit lac :
 - de suivre l'état de contamination des affluents,
 - de préciser le trajet des eaux souterraines.
- intégrer ces différents résultats dans un document de synthèse de type diagnostic, accompagné d'un Système d'Informations Géographiques (SIG),
- proposer pour chaque action des mesures techniques et leurs coûts dans un deuxième document, sous forme de fiches actions accompagnées d'un SIG.

Principales observations

Les données collectées au cours de ce suivi, ainsi que ce rapport, ont été produits via le programme R (R CORE TEAM 2017) à travers RStudio (RSTUDIO TEAM 2017), couplés à différents packages (WILKE 2018; GROLEMUND et WICKHAM 2011; KAHLE et WICKHAM 2013; WICKHAM 2007; WICKHAM 2011; WICKHAM 2009; WICKHAM et al. 2017; SLOWIKOWSKI 2018; AUGUIE 2017; XIE 2017; WICKHAM et BRYAN 2018; BIVAND, KEITT et ROWLINGSON 2017; WICKHAM 2018a; WICKHAM et HENRY 2017; DAHL 2016; WICKHAM 2017; WICKHAM et RUIZ 2018; DUNNINGTON et RUIZ 2018; PEBESMA 2018; WICKHAM 2018b; PEBESMA, MAILUND et HIEBERT 2016). QGIS, PostgreSQL et PostGIS ont également été utilisés (QGIS DEVELOPMENT TEAM 2018; POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP 2017; *PostGIS* 2017).

3.1 Peuplements piscicoles

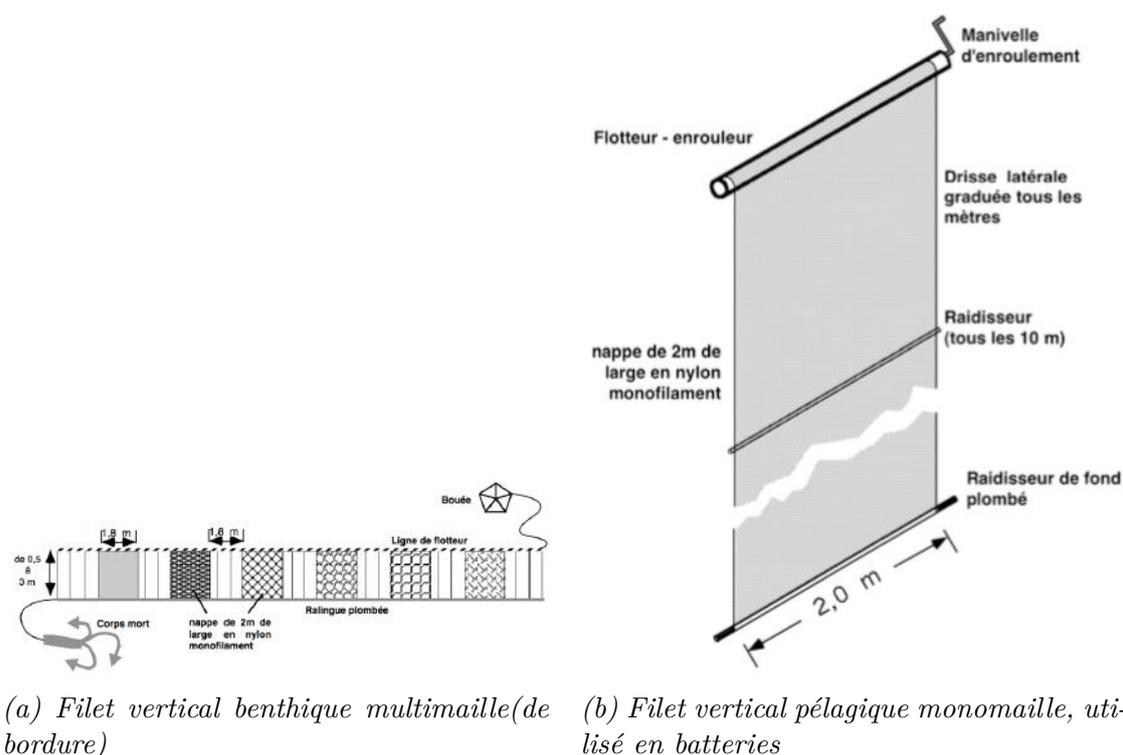
L'ichtyofaune constitue un outil indispensable à l'étude des milieux aquatiques, dont l'association d'espèces et leur densité est caractéristique d'un type de milieu et de son état général (VERNEAUX 1980). Ceci justifie l'intérêt d'étudier cette communauté en premier lieu, dans le lac à proprement parler, mais également dans ses tributaires et son émissaire.

3.1.1 Méthodes d'investigation

Idéalement, 2 à 4 campagnes d'échantillonnage par lac devraient être réalisées pour suivre l'évolution des peuplements au fil des saisons. Toutefois, les coûts et la lourdeur de mise en place d'un tel dispositif d'échantillonnage sont trop élevés. C'est pourquoi l'échantillonnage complet de l'**ichtyofaune lacustre** s'est limité à une seule campagne, réalisée 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 est primordial dans le cadre de la diagnose écologique du lac.

Trois protocoles d'échantillonnage piscicole sont à mettre en œuvre de manière simultanée concernant lac à proprement parler :

- Deux à **filets multi-maille** : le protocole DCE/CEN (AFNOR 2005), mis en œuvre par l'AFB, ainsi que le protocole dit des filets verticaux (DEGIORGI, RAYMOND et GRANDMOTTET 2003, voir figure 3.1), mis en œuvre par la Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques (FJPPMA).
- Un par **pêche électrique de bordure** : pour la zone de profondeur inférieure à 1 mètre non prospectable au filet, des pêches électriques par ambiance sont réalisées par la FJPPMA, avec application du protocole dit « Échantillonnage Continu par Distance (ECD) ».



(a) Filet vertical benthique multimaille (de bordure) (b) Filet vertical pélagique monomaille, utilisé en batteries

FIGURE 3.1 – Vue des types de filets utilisés

Un point essentiel est que le protocole dit des filets verticaux présente deux avantages par rapport au protocole CEN :

- C'est le protocole utilisé historiquement dans la région depuis plusieurs décennies, et mis en œuvre récemment sur les lacs de Chalain, de Bonlieu, Les Rousses (39), de Saint-Point, de Remoray (25) et de Joux (Suisse) ainsi que de nombreux lacs suisses plus éloignés (ALEXANDER et al. 2015a ; ALEXANDER et al. 2015b).
- Il met en rapport les captures, et donc les peuplements piscicoles, avec les habitats de l'espace lacustre, ce qui permet de mieux comprendre la structuration spatiale de ces peuplements.
- Ces deux points permettent d'évaluer les évolutions spatiales et temporelles des peuplements piscicoles, en lien avec l'évolution des habitats disponibles.

Dans les faits et par temps calme, trois bateaux interviennent 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 (filets verticaux à proprement parler).
- Deux bateaux, adaptés pour la pose de filets de fond (araignées multi-maille) et la pêche électrique embarquée, destinés à prospecter les zones littorales.

La pose des filets s'effectue en fin de journée et la relève à l'aube. À terre, une équipe rodée pour la biométrie, l'étiquetage et le conditionnement des échantillons est à pied d'œuvre dès que les premières captures sont rapatriées (voir figure 3.2).

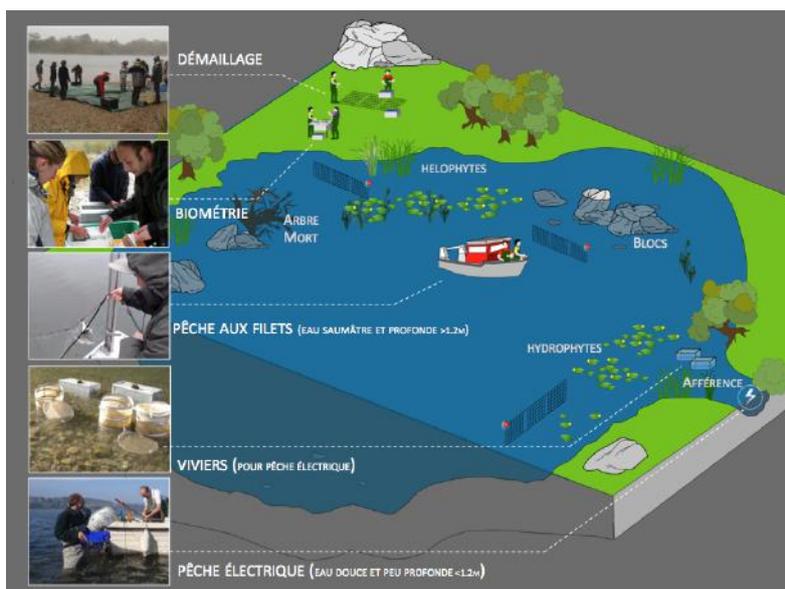


FIGURE 3.2 – Organisation des différents ateliers de travail des pêches lacustres

La répartition des actions de pêche de 2015 (poses de filets, pêches à l'électricité des habitats de bordure inventaires dans les affluents) est visible sur la figure 3.3. Les résultats récoltés par l'AFB et par la FJPPMA sont analysés globalement.

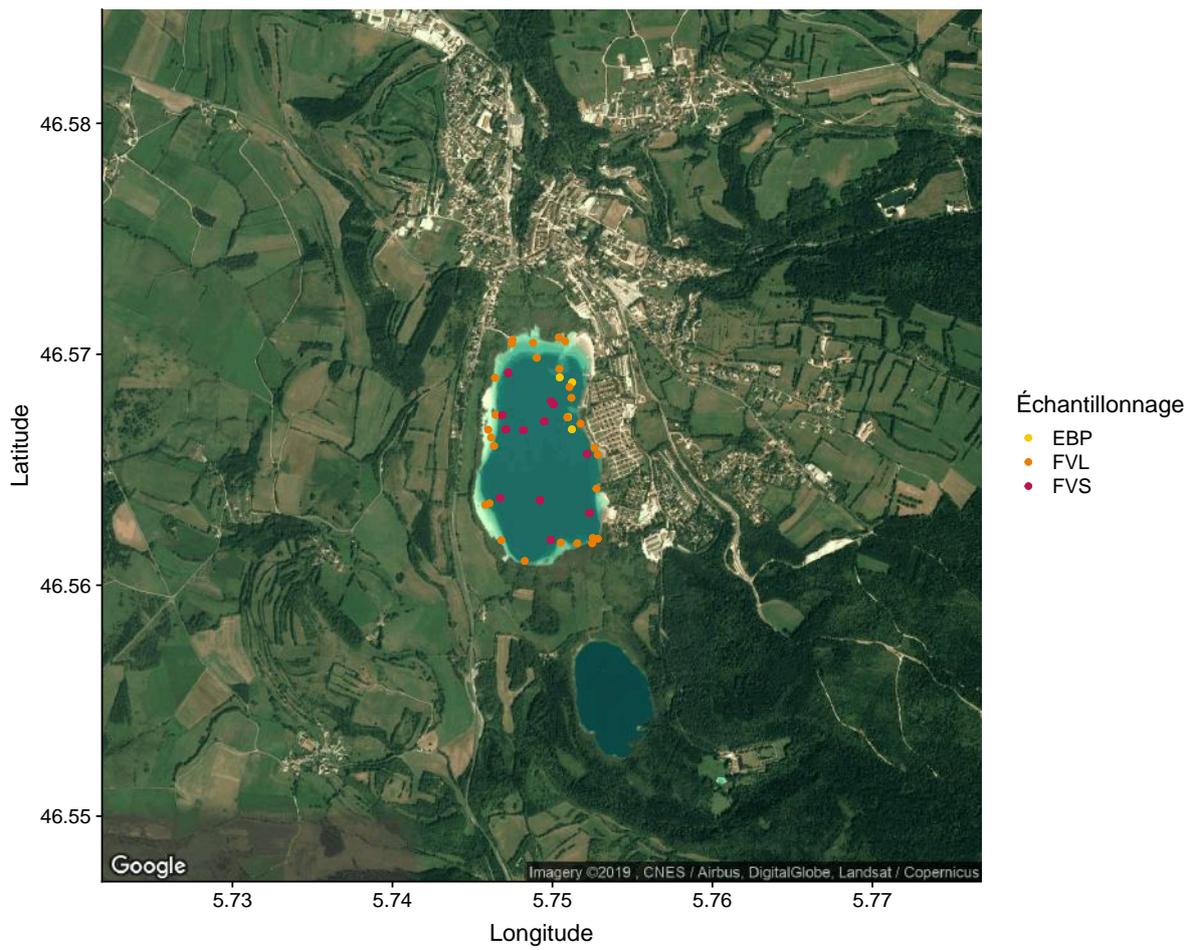


FIGURE 3.3 – Positions des échantillonnages réalisés en 2015

3.1.2 Évolution historique

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

- du premier échantillonnage scientifique réalisé conjointement par le Centre national du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (CEMAGREF), l'Université de Franche-Comté, le laboratoire vétérinaire départemental du Jura et le Service Régional d'Aménagement des Eaux (SRAE) en 1982 (SRAE DE FRANCHE-COMTÉ 1984),
- d'un nouvel échantillonnage lourd, mis en œuvre par le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) en 2002-2003 (RAYMOND 2005),
- du suivi réalisé par l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) en 2009 (ONEMA 2011),
- de la campagne d'échantillonnage piscicole réalisée en 2015 dans le cadre de cette étude.

TABLE 3.1 – Type, nombre (n) et surface (S) de filets posés

Type de filets	1982		2002-03		2009		2015			
	S	n	S FV	n FV	S CEN	n CEN	S CEN	S FV	n CEN	n FV
Divers	6639									
Benthique			3064	76	1440	32	1440	1686	32	49
Pélagique			5832	80	990	6	990	2126	6	84

L'effort de pêche déployé en 2015 est important dans sa globalité, avec un effort de pêche identique à celui de 2009 pour le protocole CEN et inférieur pour les filets verticaux à celui de 2002-2003, mais qui comprenait 3 campagnes (tableau 3.1).

TABLE 3.2 – Liste, statut de protection (CSRPN, 2014) et tendances d'évolution des espèces piscicoles observées au cours des différentes campagnes d'échantillonnage

Famille	Espèce	Nom latin	Code	Statut	1982	2003	2009	2015	Évolution
Cyprinidae	Ablette	Alburnus alburnus	ABL	LC		✓	✓	✓	↗
	Brème	Abramis brama	BRE	LC	✓	✓	✓	✓	-
	Brème bordelière	Blicca bjoerkna	BRB	LC		✓	✓		-
	Carassin	Carassius carassius	CAS			✓			↘
	Carpe commune	Cyprinus carpio	CCO	LC		✓			-
	Carpe miroir	Cyprinus carpio	CMI					✓	-
	Chevesne	Leuciscus cephalus	CHE	LC	✓	✓	✓	✓	-
	Gardon	Rutilus rutilus	GAR	LC	✓	✓	✓	✓	-
	Rotengle	Scardinius erythrophthalmus	ROT	LC	✓	✓	✓	✓	↗
	Tanche	Tinca tinca	TAN	LC	✓	✓	✓		↘
	Vandoise	Leuciscus leuciscus	VAN	NT	✓				↘
Esocidae	Brochet	Esox lucius	BRO	VU	✓	✓	✓	✓	↘
Percidae	Grémille	Gymnocephalus cernua	GRE		✓	✓	✓	✓	↘
	Perche	Perca fluviatilis	PER	LC	✓	✓	✓	✓	-
Salmonidae	Corégone	Coregonus lavaretus	COR		✓	✓	✓	✓	↘
	Truite lacustre	Salmo trutta lacustris	TRL			✓			↘
Total			16		10	14	11	10	

On observe dans le tableau 3.2 que 1 espèce de moins a été observée entre 2015 et 2009 avec l'apparition de la carpe (miroir dans ce cas) et les absences de capture de la brème bordelière et de la tanche (non alevinée depuis 2001 pour cette dernière). Il est à noter la capture d'écrevisses des espèces *Orconectes limosus* et *Pacifastacus leniusculus* en 2015.

La présence de cette nouvelle espèce nouvellement observée en 2015 ne peut s'expliquer que par une introduction volontaire non-encadrée récente d'après la chronique disponible des empoissonnements (voir tableau 3.3). On observe en effet que seul le corégone a fait l'objet d'introductions depuis 2005.

TABLE 3.3 – *Empoisonnements réalisés à partir de 1999 dans le grand lac de Clairvaux*

Date	Code	Espèce	Stade	poids	nombre
2010-10-21	COR	Corégone	2		20000
2009-10-07	COR	Corégone	2		40000
2008-12-06	COR	Corégone	2		60000
2008-12-06	COR	Corégone	2		60000
2007-06-03	COR	Corégone	2		30000
2006-06-03	COR	Corégone	2		30000
2005-12-20	TAC	Truite arc-en-ciel	3	400	2500
2005-10-11	COR	Corégone	2		40000
2004-12-16	COR	Corégone	2		30000
2004-06-19	TAC	Truite arc-en-ciel	2		50000
2003-12-20	TAC	Truite arc-en-ciel	2		70000
2002-08-18	COR	Corégone	2		50000
2001-10-01	GAR	Gardon	5	40	
2001-10-01	TAN	Tanche	5	30	
2001-04-04	COR	Corégone	2		28000
2000-12-16	COR	Corégone	2		50000
1999-09-08	BRO	Brochet	5	15	
1999-09-08	BRO	Brochet	3	80	800
1999-09-08	PER	Perche	5	30	
1999-09-08	CCO	Carpe commune	5	20	
1999-09-08	TAN	Tanche	5	20	
1999-09-08	GAR	Gardon	5	10	
1999-09-02	BRO	Brochet	3	50	500
1999-09-02	BRO	Brochet	3	50	500

Les Captures Par Unité d'Effort (CPUE) calculées à partir des captures sont visibles dans les tableaux 3.4 et 3.5. Les captures en nombre sont dominées par la perche (PER), le gardon (GAR) et le rotengle (ROT). Le ROT était remplacé par le corégone (COR) lors des campagnes de 2009, 2003 et 1982. La répartition en biomasse est largement dominée par la PER, le GAR et le COR, ce qui est concordant avec les résultats antérieurs. Le brochet (BRO) et la carpe miroir (CMI) ont également des CPUE pondérales notables, mais seulement du fait de la capture de quelques individus adultes d'un poids conséquent.

TABLE 3.4 – Répartition par espèce et par mode de capture des CPUE (nombre d'individus par 1000 m² de filet ou de surface de pêche électrique)

Code taxon	CEN bent.	CEN pelag.	P. elec.	FV bent.	FV pelag.
ABL	0	1	13	2	0
BRE	1	1	-	-	1
BRO	1	1	2	2	0
CHE	0	-	4	2	-
CMI	-	-	-	0	-
COR	8	14	-	-	6
GAR	104	2	3	17	7
GRE	15	-	-	6	2
PCL	1	-	-	1	-
PER	128	1	155	49	6
ROT	36	9	-	32	9
Total	-	-	-	-	-

TABLE 3.5 – Répartition par espèce et par mode de capture des CPUE (kg par 1000 m² de filet ou de surface de pêche électrique)

Code taxon	CEN bent.	CEN pelag.	P. elec.	FV bent.	FV pelag.
ABL	-	0.02	0.08	0.03	-
BRE	1.26	0.21	-	-	1.14
BRO	0.46	2.62	0.56	1.72	0.14
CHE	0.20	-	0.01	1.03	-
CMI	-	-	-	3.17	-
COR	1.53	2.10	-	-	1.09
GAR	2.31	0.20	-	0.43	0.23
GRE	0.10	-	-	0.05	0.01
PCL	0.08	-	-	0.11	-
PER	5.22	-	0.59	1.44	0.83
ROT	1.33	0.14	-	1.78	0.22
Total	-	-	-	-	-

La population de COR est représentée de manière hétérogène, avec principalement trois classes de taille : juvéniles d'un an, juvéniles/jeunes adultes et adultes. La cohorte des juvéniles de l'année est inexistante dans l'échantillonnage réalisé. On peut donc conclure d'un maintien de l'espèce sans alevinages, mais dans une situation où le recrutement est irrégulier. La même conclusion était tirée après l'échantillonnage de 2002-2003 (RAYMOND 2005). Les lectures d'ototholites d'individus capturés par les pêcheurs de l'AAPPMA « Les pêcheurs clairvaliens », réalisées par Alexis Champigneule, faisaient état en 2010 d'une très faible proportion de poissons issus des alevinages dans le panier du pêcheur, et donc vraisemblablement au sein de la population (comm. pers. Serge David).

La PER et le GAR présentent des structures de populations légèrement déséquilibrées, avec respectivement un déficit de juvéniles d'un an ou de l'année. La forte dynamique des juvéniles de l'année de PER, supérieure à celle de 2009, laisse donc supposer un étranglement vers les stades plus âgés de nature non identifiée (trophie, pathologie, compétition, etc.). Aucun juvénile de BRO de l'année n'a été capturé.

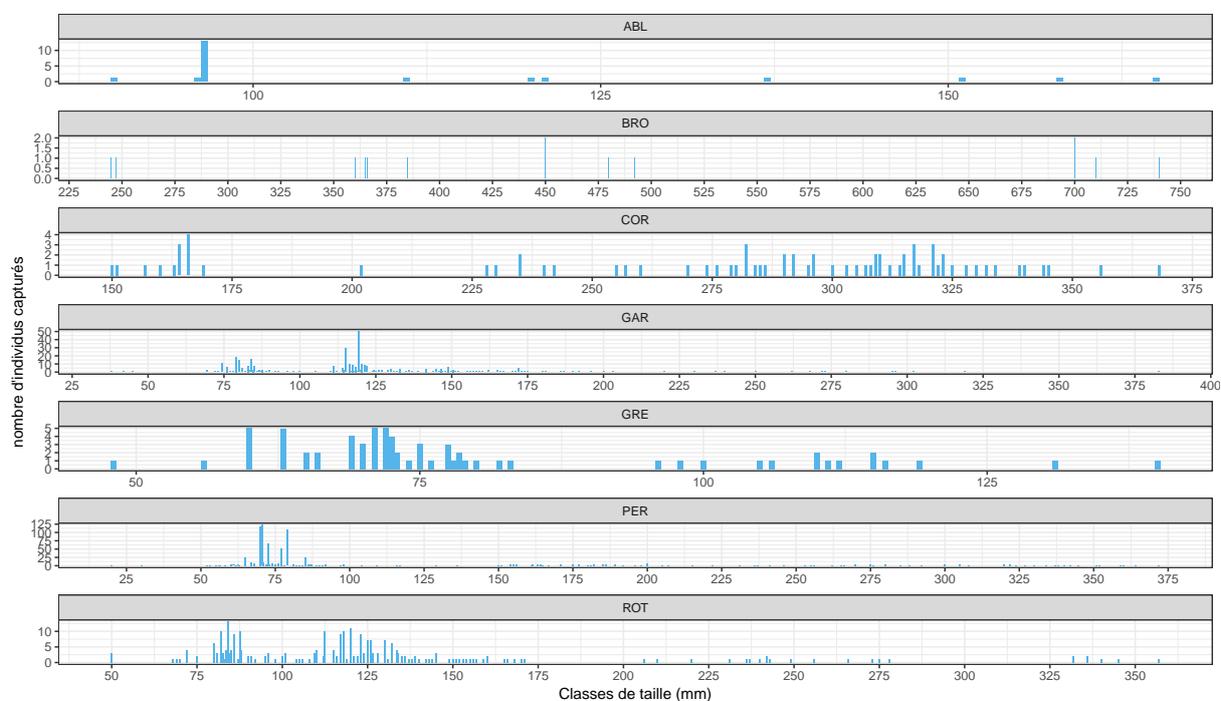


FIGURE 3.4 – Répartition taille/fréquence des captures sur le grand lac de Clairvaux pour les principales espèces capturées

Il apparaît ainsi que l'ichtyofaune du grand lac de Clairvaux a peu évolué dans sa structure relative depuis 2009, tout en poursuivant sa dynamique de dégradation globale au fil des échantillonnages réalisés depuis 1982. On observe effectivement une évolution du peuplement, originellement structuré autour de la truite lacustre (TRL), de la vandoise (VAN) et du BRO, espèces sensibles, vers la PER et le GAR, espèces moins exigeantes. Ces constats avaient déjà été faits en 2003 et 2009.

Le rapport carnassiers ichtyophages-proies (environ 40-60 %), en faveur des carnassiers, est déséquilibré. Les deux espèces recensées, le BRO et la PER, se répartissent par ailleurs de façon déséquilibrée, avec une très forte domination par la PER, traduisant de nouveau un dysfonctionnement de la population de BRO. Enfin, il faut remarquer l'absence au cours de l'échantillonnage d'espèces rhéophiles comme le vairon (VAI), présent dans la Raillette en amont du Petit lac (FAGOT 2011a).

3.1.3 Répartition

La répartition verticale de l'effort d'échantillonnage et des CPUE est visible sur la figure 3.5. On remarque une répartition régulière des captures tout au long du gradient de profondeur.

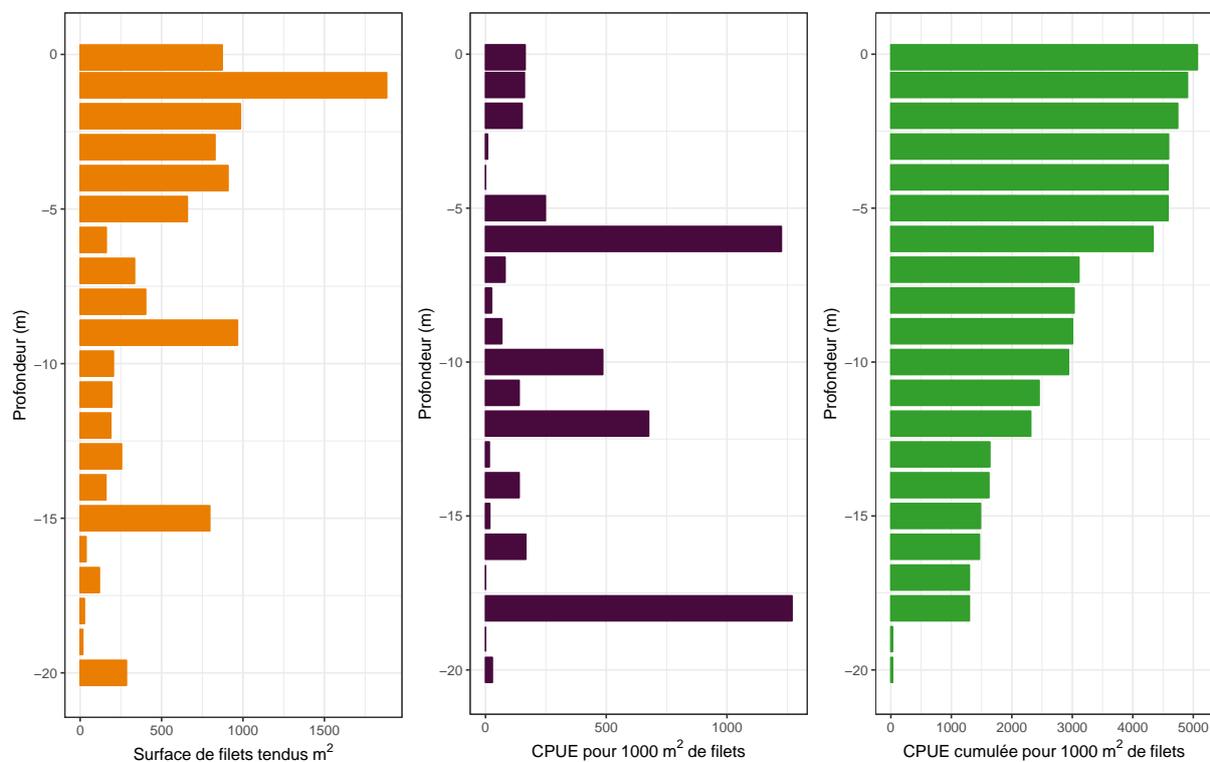


FIGURE 3.5 – Effort d'échantillonnage et CPUE en fonction de la profondeur

L'analyse plus fine de la répartition verticale des CPUE par espèce est visible sur la figure 3.6. On peut noter que c'est au sein de la zone profonde que la plupart des COR ont été capturés. À l'inverse, la très grande majorité des perches et des gardons échantillonnés l'ont été en zone au niveau du talus (5 à 10 mètres de profondeur).

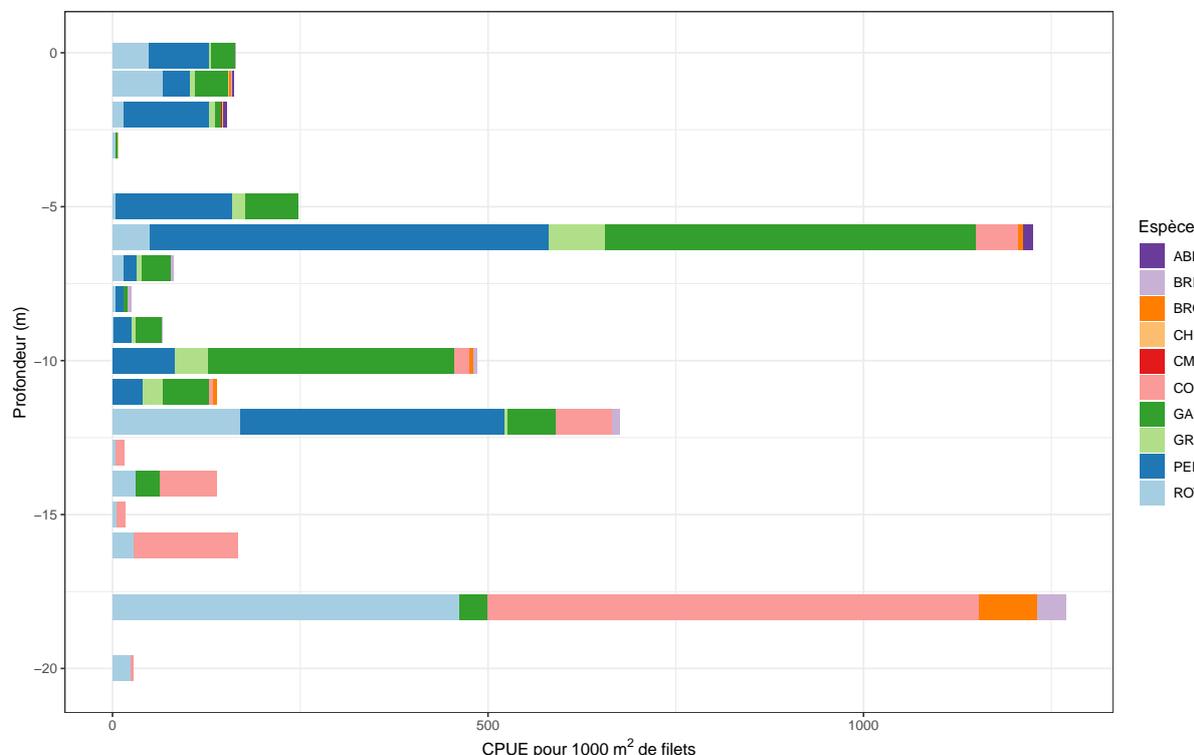


FIGURE 3.6 – CPUE par espèce en fonction de la profondeur

La répartition des captures en fonction des habitats (voir figure 3.7) fait état de situations contrastées :

- les AFFérences (AFF), les BLOcs (BLO), les BRAnchages (BRA), les EFFérences (EFF), les HÉLophytes (HEL) et les HYdrophytes Flottants (HYF) sont les habitats les plus attractifs et ceux où la diversité et les CPUE observées sont les plus importantes ;
- les Fonds Nus Minéraux (FNM), les GRaviers colmatés (GRS), les HÉLophytes éparées (HLE), les SABLEs (SAB) et les Zones sublittorales de Talus peu profond (TINF) présentent une colonisation beaucoup moins variée, mais avec parfois un effet de niche (cas des SAB seulement colonisés par les alettes (ABL)).

Le rôle particulièrement structurant des habitats disponibles pour l'ichtyofaune est bien connu dans les lacs (SCHLUMBERGER et ÉLIE 2008) comme dans les cours d'eau (GRANDMOTTET 1983).

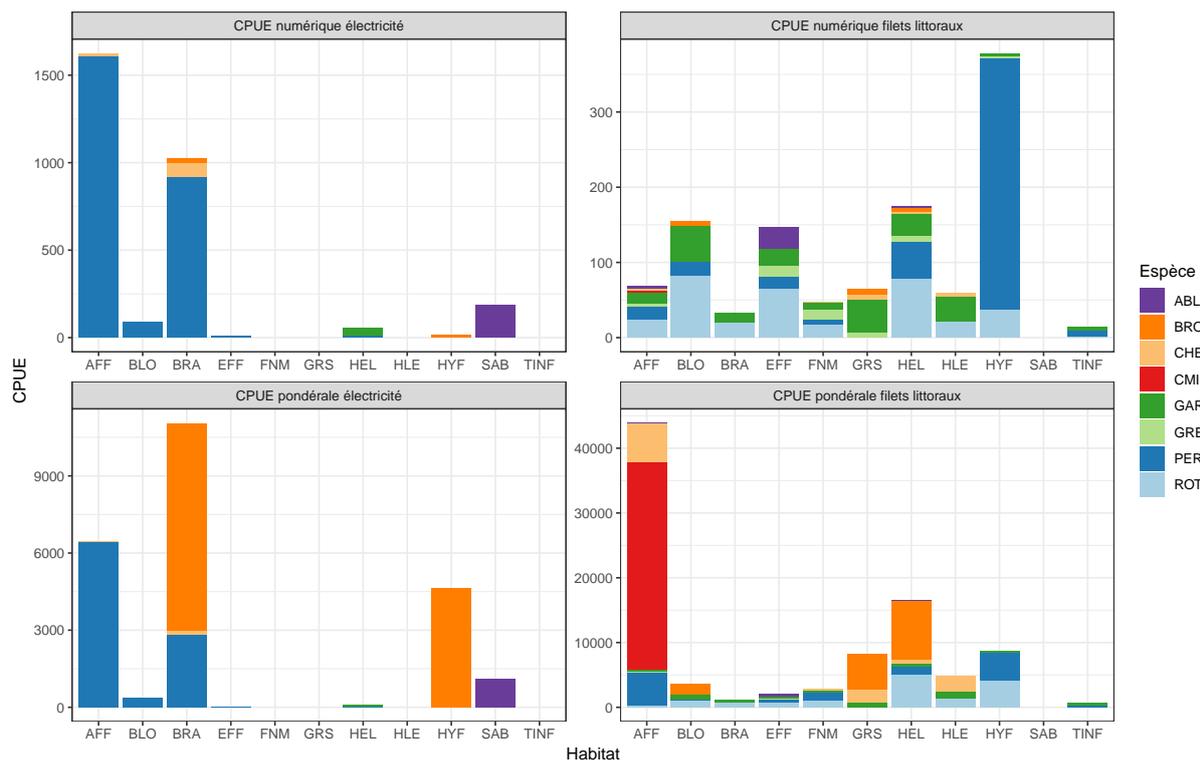


FIGURE 3.7 – CPUE par espèce et par mode de pêche en fonction des différents habitats littoraux

En conclusion, il apparaît que le peuplement piscicole du grand lac de Clairvaux est **destructuré**. Les rendements de capture ne présentent pas d'évolution significative, mais la **biodiversité piscicole est incomplète**. Les **espèces repères historiques** sensibles que sont la TRL et la VAN sont **absentes**, et le BRO présentent des effectifs faibles. À l'inverse, des espèces moins exigeantes telles que le GAR ou la PER présentent des effectifs importants, mais avec également des populations non optimales dans leur composition en classes de taille.

3.2 Étude des milieux

L'état des peuplements piscicoles décrit plus haut est la conséquence de la structuration du biotope lacustre, de ses afférences et donc de son bassin versant. Ces différents aspects ont été appréhendés au cours de ce diagnostic.

3.2.1 Alimentations karstiques

Des suivis de la contamination des sédiments des affluents du grand lac de Clairvaux ont été réalisés en 2011 (FAGOT et GROUBATCH 2011). Ils ont notamment mis en évidence la présence de molécules toxiques en amont du petit lac et entre les deux lacs, notamment du DDT-4,4' ainsi que différents congénères de PolyChloroBiphényles (PCB).

Ces molécules sont d'origine anthropique et représentent des risques majeurs pour les milieux aquatiques. Le petit lac de Clairvaux sert par ailleurs de point de captage d'AEP pour le « SIE du Petit Lac de Clairvaux » et représente donc des enjeux majeurs de santé publique.

Il a été observé que ces contaminations apparaissaient à l'aval de la confluence entre la Raillette et la Fontaine du Piley. Ce petit affluent n'avait à l'époque pas été suivi. Ceci laisse donc supposer un éventuel apport par cet hydrosystème. Le secteur amont de celui-ci est couvert par une zone boisée et cultivée mais sur un secteur géologiquement très faillé. Les différentes colorations réalisées dans le secteur montre des écoulements des eaux de surface dans le karst, très marqué dans le secteur, vers différents exutoires (CAILLE 2005) :

- Différentes sources afférentes de la Raillette (RAI),
- la Serra (SRA), affluent direct de la retenue de Vouglans,
- le Germange (GER), affluent de la Cimante (CIM) elle-même affluent de la retenue de Vouglans.

La commune de Soucia présente sur son territoire une ancienne décharge, référencée par ANONYME 1993 et décrite comme contenant des monstres et des batteries automobiles. Il semblait donc nécessaire de préciser les circulations d'eau depuis ce point de potentielle contamination toxique, et d'évaluer les éventuelles présences de toxiques dans les cours d'eau.

Un traçage hydrogéologique a donc été réalisé par le bureau d'études Caille au cours de l'année 2016 sous forme d'une double-injection (hautes-eaux et basses-eaux) dans une lésine au pied du talus de l'ancienne décharge (CAILLE 2016).

La surveillance des exutoires potentiels de cette injection a été réalisée à l'aide de fluocapteurs/fluorimètres sur douze points situés au niveau :

- | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">— de la grotte du Piley,— de la Raillette,— de la Serra, | | <ul style="list-style-type: none">— de la Source du Moulin,— du ruisseau de Germange,— de la Source Noire. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



(a) Vue de l'ancienne décharge de Soucia (b) Vue de l'injection réalisée le 6 avril 2016

Les suivis ont permis d'observer le traceur :

- en hautes-eaux au niveau de la source de la Serra, avec une vitesse de transfert de 54 mètres par heure ;
- en basses-eaux au niveau de la source du Moulin, avec une vitesse de transfert de 20 mètres par heure.



FIGURE 3.9 – Présence de fluorescéine à la fontaine de la source de la Serra le 07/04/2016 - Cliché C. Caille

« Les **eaux infiltrées à l'ancienne décharge de Soucia ressortent principalement à la source du Moulin** situées sous le ressaut topographique à l'ouest du point d'infiltration. La source de la Serra constitue un exutoire secondaire qui fonctionne en trop-plein du réseau karstique. Les **sources de la Raillette ne sont pas touchées par les traceurs** que ce soit en condition de hautes ou de basses eaux. »

3.2.2 Morphologie des afférences

La méthode proposée est destinée à travailler à une échelle large, celle du tronçon (MALAVOI 1989). Elle consiste à sectoriser le linéaire de la rivière en tronçon pour lesquels la géologie, les apports hydrologiques (confluences notamment), la géomorphologie et les contraintes anthropiques sont homogènes. À partir de cette délimitation, la « méthode tronçon » mise au point par la DR5 du CSP et finalisée par le bureau d'études Teleos (TÉLÉOS 2000) est mise en œuvre sur chaque segment défini précédemment et dont les limites réelles peuvent évoluer à la vue des résultats.

Le linéaire complet des systèmes étudiés est parcouru par un opérateur qui recense les facteurs favorables et défavorables à chacune des composantes fondamentales de la qualité physique.

Cette étape permet d'élaborer des scores synthétiques afin de faciliter l'interprétation :

- Le score d'hétérogénéité caractérise la variété des formes, des substrats/supports, des vitesses de courant et des hauteurs d'eau du lit d'étiage ; plus ce score est élevé, plus les ressources physiques sont diversifiées.
- Le score d'attractivité intègre la qualité des substrats, soit l'intérêt global des substrats/supports pour les poissons, la qualité et la quantité des caches et des abris ainsi que l'existence et la variété des frayères.
- Le score de connectivité caractérise la fonctionnalité de la zone inondable ainsi que la fréquence des contacts entre la rivière et les interférences emboîtées que constituent la ripisylve et le « lit moyen » ; il apprécie également le degré de compartimentation longitudinale par les barrages et les seuils, ainsi que les possibilités de circulation des poissons migrateurs ou « sédentaires ».
- Le score de stabilité des berges et du lit traduit l'importance des érosions régressives (fréquence des seuils), progressive et latérale (proportion de méandres instables), de l'état des berges (degré d'érosion), de l'incision, etc.



FIGURE 3.10 – *Vue de la Raillette à l'amont du Petit lac*

Les résultats établis en 2011 (FAGOT et GROUBATCH 2011) font état :

- d'un secteur amont, divisé en deux sous-secteurs fonctionnels : une partie apicale à forte pente, très faible débit, avec un très important encroûtement calcaire, et une partie basale à l'amont du Petit lac, avec une lame d'eau très élargie, une attractivité moyenne du fait d'une très forte homogénéité.
- d'un secteur compris entre les deux lacs sur-élargi, curé et probablement rectifié, très homogène et donc peu attractif,
- d'un secteur aval du Grand lac très semblable à celui situé entre les deux lacs, et qui est par ailleurs totalement rectiligne,
- des parties basales des autres afférences également curées, avec parfois des têtes de bassin présentant encore des situations intéressantes.

Il est également nécessaire de noter la présence de trois ouvrages limitant la continuité écologique :

- le ROE 8983, correspondant au barrage situé en amont de la colonie,
- le ROE 23907, correspondant à l'ouvrage busé situé entre les deux lacs,
- le ROE 23913, correspond à l'ouvrage de régulation de la hauteur du lac.

En conclusion, **la Raillette** (exceptée dans sa partie apicale) et les autres principaux affluents du bassin versant du Grand lac de Clairvaux ont fait l'objet d'une **intense chenalisation** (curages, rectifications et emmurements). Ces actions anthropiques passées ont eu pour conséquence une **forte banalisation de la structure physique de ces milieux naturels** et une **réduction drastique** de la qualité habitacionnelle et donc de **la capacité d'accueil des espèces végétales et animales**.

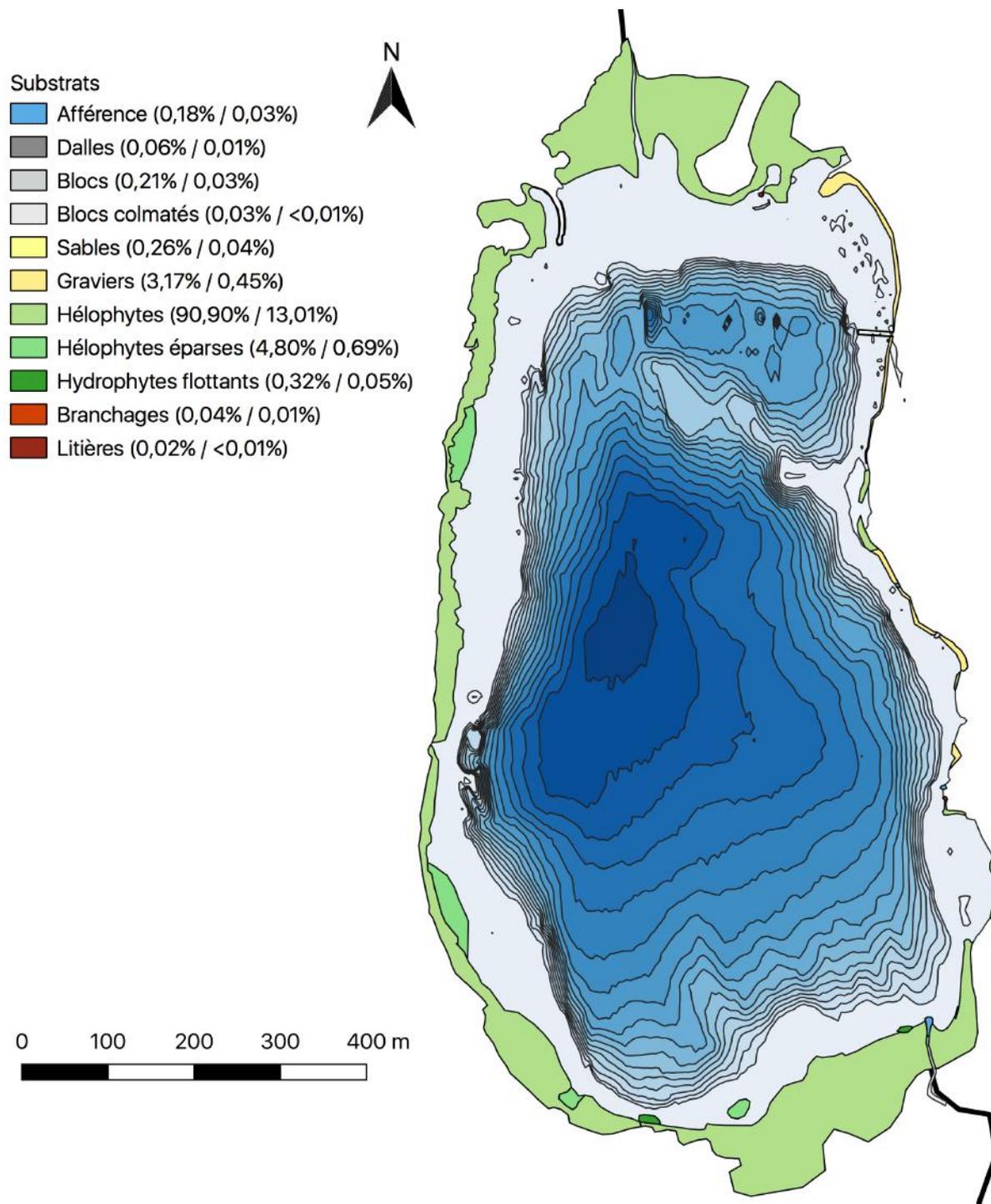


FIGURE 3.12 – Bathymétrie (pas de 1 mètre) et habitats répertoriés préalablement à la définition du protocole d'échantillonnage aux filets verticaux, avec leur répartition superficielles relatives et absolues

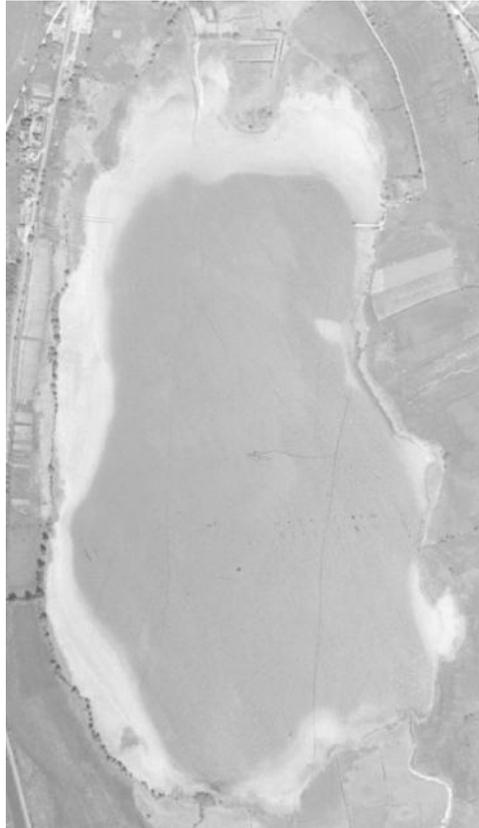


FIGURE 3.13 – *Vue aérienne du Grand lac de Clairvaux en 1953 - Cliché IGN*

La qualité morphologique du Grand lac de Clairvaux a fait l'objet d'une **intense chenalisation** (curages, rectifications et emmurements). Ces actions anthropiques passées ont eu pour effet une **forte banalisation de la structure physique de ces milieux naturels** et d'en **réduire drastiquement** la qualité habitationnelle et donc **la capacité d'accueil des espèces végétales et animales**.

3.2.4 Variations du niveau du lac

La fonctionnalité écologique d'un habitat lacustre et de ses zones rivulaires associées est très fortement dépendante de l'évolution hydraulique du plan d'eau, c'est-à-dire des variations de son niveau (FAGOT 2011a). Les fluctuations de la hauteur de la ligne d'eau sont ici sous l'influence :

- de la régularité et de l'intensité des entrées d'eau, par l'hydrologie des affluents et du bassin versant ;
- des volumes sortants, expliqués ici par :
 - l'hydrologie s'écoulant dans la Raillette en aval du Grand lac, elle-même fixée par l'ouvrage situé sous le pont d'Augeon de la route départementale 678 (ROE 23913 - voir figure 3.14),
 - les volumes prélevés pour l'AEP par la colonie de Saint-Ouen,
 - les volumes prélevés pour l'AEP par le SIE du Petit lac,
 - l'évaporation (3 à 5 L/s/ha en été - SCHLUMBERGER et GIRARD 2013), soit entre 231 L/s et 385 L/s environ pour les deux lacs.



FIGURE 3.14 – Vue de la l'ouvrage régulant le niveau du Grand lac au niveau du pont d'Augeon

Afin de suivre les variations de niveau du lac, un piézomètre a été installé en 2011 (FAGOT et GROUBATCH 2011), dont les données ont déjà été analysées en 2015 (FAGOT 2015).



FIGURE 3.15 – Exemple de piézomètre : Mini-Diver (diamètre de 22 mm et longueur de 90 mm)

Cet instrument (voir figure 3.15) permet de mesurer et d'enregistrer de manière autonome le niveau des nappes d'eau à travers la mesure de la pression exercée par les colonnes d'eau et d'air situées au-dessus. Il est donc également nécessaire de disposer d'un baromètre afin de soustraire les variations liées à la pression atmosphérique.

Des mesures topographiques ont permis d'établir les altitudes relatives puis absolues (NGF) suivantes (voir tableau 3.6) :

- l'altitude du piézomètre, permettant d'établir l'altitude de la surface de l'eau du grand lac,
- l'altitude du zéro de l'échelle limnigraphique située sous le pont d'Augeon,
- l'altitude du départ béton de la jetée, au coin, utilisé comme référence par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt, aujourd'hui fusionné au sein de la DDT (DDAF) (voir annexe .2.1),
- les altitudes de référence des niveaux « été » et « hiver » préconisés par la DDAF.

TABLE 3.6 – *Principales altitudes NGF*

Position	Altitude (NGF en mètres)	Période applicable
0 de l'échelle limnigraphique	526,52	-
Angle de départ de la jetée en béton	527,01	-
Niveau « été »	526,53	21 juin au 30 septembre
Niveau « hiver »	526,83	01 octobre au 20 juin

Il est à noter qu'un problème matériel a empêché l'enregistrement des mesures entre le 18 novembre 2011 et le 10 mai 2012.

La figure 3.16 représente l'évolution interannuelle du niveau du grand lac de Clairvaux par rapport à la cote NGF fixée par la décision de la DDAF. Les mêmes données représentées de manière chronologique continue sont visibles en annexe .2.2.

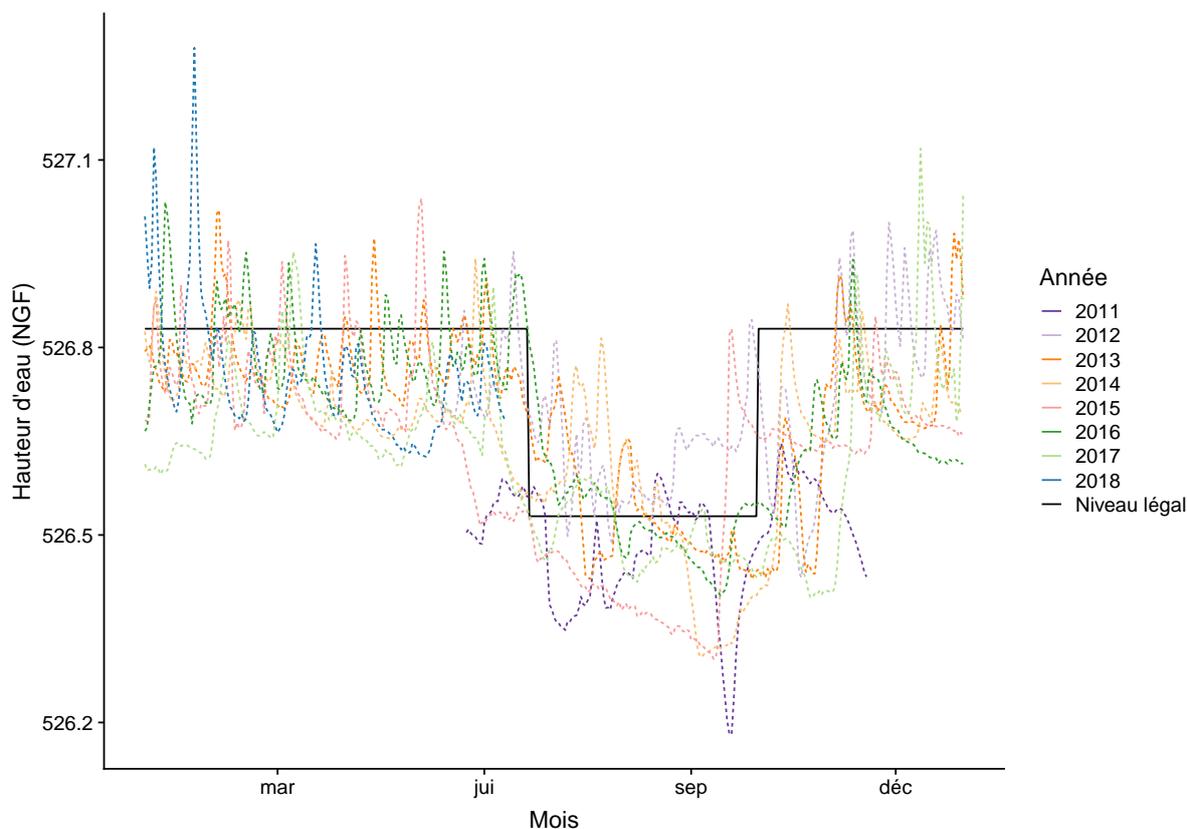


FIGURE 3.16 – *Chronique des mesures de hauteur d'eau du Grand lac de Clairvaux - Superposition annuelle et comparaison avec le niveau légal*

On observe une structure fine avec une assez forte variabilité ponctuelle (variations journalières/hebdomadaire), dont la dynamique plus large se rapproche des niveaux légaux à une plus large échelle de temps (plusieurs semaines/mois). Néanmoins, la variabilité interannuelle a une différence absolue de l'ordre du mètre sur les sept années de chronique disponible.

La figure 3.17 illustre l'écart entre les valeurs observées et les valeurs attendues. On s'aperçoit que les surfaces vertes, représentant des périodes de niveau réel supérieur au niveau légal, sont nettement plus réduites que les surfaces oranges représentant des périodes de niveau réel inférieur au niveau légal. Il est également net que cette deuxième catégorie présente des pics avec des intensités plus importantes, pouvant aller jusqu'à un niveau observé 40 centimètres inférieur au niveau légal attendu.

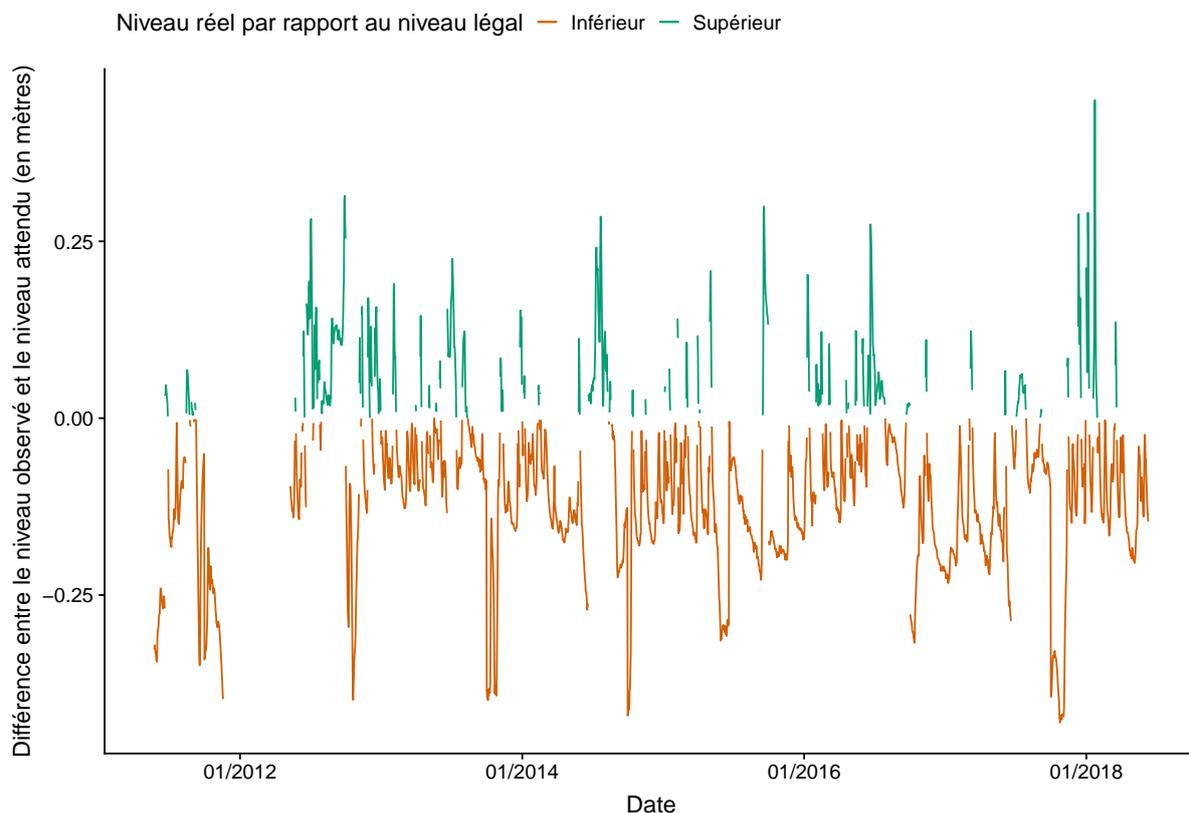


FIGURE 3.17 – Différence (en mètres) entre l'altitude NGF du niveau du grand lac de Clairvaux entre 2011 et 2018 et le niveau légal fixé par la décision de la DDAF (Vert : niveau observé supérieur au niveau légal - Rouge : niveau observé inférieur au niveau légal)

Il apparaît que les périodes durant lesquelles le niveau observé est inférieur au niveau légal sont prépondérantes, avec des intensités variables au cours de l'année :

- La période estivale présente des niveaux plus ou moins conformes à ceux attendus en fonction des années : 2012, 2013 et 2017 proches de la norme fixée, 2015 et 2016 très en deça (voir annexe .2.2).
- La période critique est celle correspondant à la fin septembre - début octobre, comme cité précédemment, s'expliquant en partie par la remontée du niveau légal, qui prend un certain temps à rendre effectif au niveau du lac.
- On voit également que la fin de l'année et surtout le **printemps** (mars à juin) posent problème, avec des déficits de niveau marqués. Cette dernière **période est la plus critique** via-à-vis de la reproduction du brochet, qui démarre par une

ponde généralement en mars jusqu'à une résorption de la vésicule vitelline en avril-mai selon les conditions de température. L'espèce pond dans des herbiers dont la hauteur d'eau est comprise entre 30 et 100 centimètres d'eau, habitats qui peuvent donc rapidement se retrouver hors d'eau dans le cas de variations à la baisse continue sur plusieurs jours (KEITH et al. 2011). Un niveau d'eau stable pendant 4 à 8 semaines suivant la période de reproduction assure une meilleure survie des œufs, des larves, et donc de plus fortes cohortes de juvéniles (SCHLUMBERGER et ÉLIE 2008). La reproduction des cyprinidés, légèrement plus tardive, doit également profiter du même type de gestion afin d'offrir un peuplement piscicole équilibré.

Les amplitudes entre les valeurs minimales et maximales journalières ont été calculées pour chaque journée du suivi. La figure 3.18 permet d'en visualiser l'intensité et la répartition temporelle.



FIGURE 3.18 – Amplitudes journalières (en mètres) et sens des variations du niveau du grand lac de Clairvaux (Vert : variation montante du niveau - Orange : variation descendante du niveau)

Cette figure et le tableau 3.7 permettent d'observer la répartition entre les années de suivi du nombre d'occurrences de chaque classe d'amplitude de variation. On s'aperçoit que la très grande majorité des amplitudes journalières descendantes sont inférieures à 5 centimètres, ne posant pas de problème si elles ne s'enchaînent pas successivement. Néanmoins, le nombre de journées présentant des amplitudes journalières supérieures à 5 centimètres est assez important (5 à 10 par an), avec par ailleurs 15 épisodes de baisse journalière supérieure à 10 cm, dont 5 de plus de 20 cm et un de près de 50 cm.

TABLE 3.7 – Décompte des amplitudes des variations journalières **descendantes**

Classe d'amplitude de variation (en cm)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
< 2	69	66	127	111	109	161	120	55
2-5	17	62	74	66	41	74	59	44
5-10	1	12	9	1	8	8	11	6
10-20		1			6			4
20-40					3		1	
> 40					1			

Dans un cas comme dans l'autre, les **impacts** sur les milieux amont comme aval sont potentiellement **très importants** pour des vitesses de variation de cet ordre de grandeur :

- Lors d'une importante variation du niveau du lac par vidange, de nombreux habitats de bordure rivulaires sont mis en assec. Selon la période à laquelle ce type d'événement survient, les œufs et/ou les alevins des espèces s'étant reproduites peu de temps auparavant sont mis à sec ou présentent une vulnérabilité, à la prédation notamment, bien plus importante.
- Lors d'une importante phase de remplissage, correspondant aux ordres de grandeur maximums observés ici, le risque est important que le cours d'eau situé à l'aval soit mis à sec ou présente un débit très réduit, s'expliquant potentiellement par une fermeture trop importante de la vanne. Ceci est également très nuisible à cet écosystème aval.

Une baisse de 20 cm de hauteur en une journée correspond à une perte d'environ $1.54 \times 10^5 m^3$ d'eau, soit environ, et de manière lissée, $1.782 m^3/s$ sur une durée de 24 heures. Le débit médian mesuré sur la Raillette durant 2938 jours par la Direction Régionale de l'ENvironnement (DIREN) dans les années 1980 est de $0,173 m^3/s$ (données Banque Hydro). Un tel débit moyen naturel correspond globalement à une baisse journalière de 2.5 cm ($0.223 m^3/s$). Une **baisse de hauteur d'eau supérieure à quelques cm/jour** génère **des mises en assec d'habitats lacustres ainsi que de très importants débits en aval**, constituant un **très important potentiel d'impacts** en rapport à l'hydrologie naturelle de cette tête de bassin.

La figure 3.19 représente l'évolution inter-annuelle des volumes captés par le Système d'Information sur l'Eau (SIE) du Petit Lac. Ceux-ci varient de 40.7 en 2004 à plus de 120 milliers de m^3 depuis 2015, soit une augmentation de 300 %. **La pression exercée par l'AEP sur la ressource naturelle que constituent les lacs de Clairvaux augmente significativement sur cette période.** Il serait toutefois nécessaire d'affiner cette analyse interannuelle par l'évaluation de la répartition des prélèvements au cours de l'année, sachant qu'une part importante des pompages est réalisée en période estivale afin de suppléer les sources « historiques » de la Commune face à l'augmentation de la demande (comm. pers. Marcel Guerin).

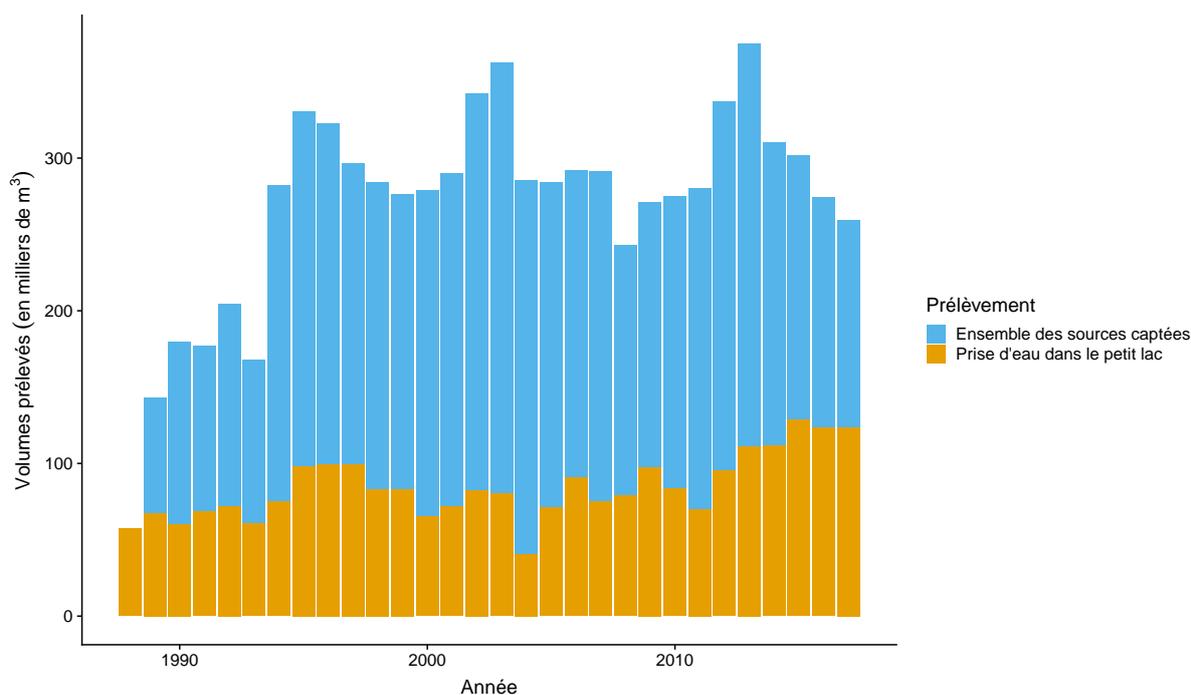


FIGURE 3.19 – Volumes annuels captés pour l’AEP (en milliers de m³) au niveau des prises d’eau de la commune de Clairvaux-les-lacs - Sources : SIERMC

En conclusion de cette tentative d’analyse des variations du niveau des lacs de Clairvaux, il apparaît que :

- l’analyse succincte ici réalisée sur l’évolution journalière des **hauteurs d’eau** du Grand lac de Clairvaux fait état de **situations préoccupantes** ;
- les **pompages** réalisés au titre de l’AEP dans le Petit Lac sont **en forte augmentation** sur la période récente, malgré un rendement du réseau de 78,8 % en 2012 (source : observatoire national des services d’eau et d’assainissement).

Les tributaires des lacs de Clairvaux présentent une **morphologie altérée du fait d’actions directes de l’Homme** (drainages, curages, rectifications, etc.). Ces habitats présentent par ailleurs une **faible attractivité** pour les espèces végétales et animales.

La **mauvaise gestion du niveau du lac**, complétée par l’**artificialisation importante de sa berge en rive droite** limite fortement la disponibilité en habitats, mais également les capacités de rétention et d’autoépuration de l’eau, ainsi que les capacités de résilience de l’écosystème dans son ensemble.

3.2.5 Contamination toxique des sédiments

Méthodes d'investigation

Des suivis de la contamination des sédiments des affluents des lacs de Clairvaux ont été réalisés en 2011. Ils ont notamment mis en évidence la **présence de molécules toxiques** en amont du petit lac et entre les deux lacs, notamment du DDT-4,4' ainsi que différents congénères de PCB.

Une nouvelle campagne d'analyse de la contamination toxique des sédiments a été réalisée. Les contaminations apparaissaient en 2011 à l'aval de la confluence entre la Raillette et la Fontaine du Piley. Ce petit affluent n'avait à l'époque pas été suivi. Ceci laisse donc supposer un éventuel apport par cet affluent. Le secteur amont de celui-ci est couvert par une zone boisée mais sur un **secteur** géologiquement **très faillé**. Les différentes colorations réalisées dans le secteur montre des **écoulements des eaux de surface dans le karst**, très marqué dans le secteur, vers différents exutoires qui ont fait l'objet du présent suivi (CAILLE 2005) :

- Différentes sources afférentes de la RAI,
- la SRA, affluent direct de la retenue de Vouglans,
- le GER, affluent de la CIM elle-même affluent de la retenue de Vouglans.

Les points de suivi précis sont référencés dans l'annexe .3.1. Les sédiments superficiels (donc récents) sont prélevés quelques jours après un épisode de crue, car de nombreux micropolluants recherchés ont tendance à s'adsorber à des particules (BOUCHESEICHE et al. 2002). Il est donc nécessaire d'attendre leur sédimentation après leur mise en suspension par l'épisode de crue (SCHIAVONE et COQUERY 2011).

Un large spectre de molécules a été recherché, incluant les molécules qui ont été détectées lors de la campagne de 2011. Ce spectre correspond à celui mis en œuvre dans le cadre du suivi Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS) réalisé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (AERMC) sur les sédiments des stations de ce réseau. Les analyses ont été confiées au Laboratoire Départemental d'Analyses de la Drôme (LDA26).

Les résultats présentés ont fait l'objet, dans la mesure du possible, d'une interprétation en fonction de grilles de qualité permettant d'évaluer le degré de contamination et/ou de toxicité des milieux aquatiques concernés :

- Nisbet et Verneaux (NISBET et VERNEAUX 1970)
- Système d'Évaluation de l'État des Eaux (SEEE) (COLLECTIF 2016)
- Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux, remplacé par le SEEE (SEQ-EAU) V2 (ANONYME 1999)
- Grille d'analyse des sédiments québécoise (ENVIRONNEMENT CANADA 2007)
- Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du Bassin Seine-Normandie (LEVET 2008)
- Valeurs guides intervenant dans la gestion des sédiments et méthodologie d'élaboration de ces valeurs : synthèse bibliographique (CLOZEL-LELOUP 2003)

Résultats

TABLE 3.8 – Résultats du suivi des toxiques (ETM) sur sédiments réalisé le 24/08/2016 selon la grille de qualité selon le SEQ-EAU V2. Une valeur absente indique une absence de mesure ou une valeur inférieure au seuil de quantification. En mg/kg MS

Paramètre	GER4-5	PIL0-1	RAI0-5	RAI0-8	RAI1-1	RAI2-2	RAI4-0	SRA0-3
Arsenic (As)	3.6	7	5	5.7	4.6	4.6	4.5	5.5
Cadmium (Cd)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.4
Chrome (Cr)	9.9	28.2	15.7	20.2	21.1	13.3	21.1	24.3
Cuivre (Cu)	2.5	4.4	3.1	4	4	2.9	11.1	14.5
Mercure (Hg)		0.04	0.03	0.03	0.03		0.04	0.09
Nickel (Ni)	3.7	10.8	8.6	10.8	7.7	5	5.8	8
Plomb (Pb)	2.9	9.6	5	6.9	6.9	4.5	103.4	11
Zinc (Zn)	19.1	40.7	34.7	40.3	30.5	21.5	87.3	74.2

TABLE 3.9 – Résultats du suivi des toxiques (ETM) sur sédiments réalisé le 24/08/2016 selon les critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec. Une valeur absente indique une absence de mesure ou une valeur inférieure au seuil de quantification. En mg/kg MS

Paramètre	GER4-5	PIL0-1	RAI0-5	RAI0-8	RAI1-1	RAI2-2	RAI4-0	SRA0-3
Arsenic (As)	3.6	7	5	5.7	4.6	4.6	4.5	5.5
Cadmium (Cd)	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.4
Chrome (Cr)	9.9	28.2	15.7	20.2	21.1	13.3	21.1	24.3
Cuivre (Cu)	2.5	4.4	3.1	4	4	2.9	11.1	14.5
Mercure (Hg)		0.04	0.03	0.03	0.03		0.04	0.09
Nickel (Ni)	3.7	10.8	8.6	10.8	7.7	5	5.8	8
Plomb (Pb)	2.9	9.6	5	6.9	6.9	4.5	103.4	11
Zinc (Zn)	19.1	40.7	34.7	40.3	30.5	21.5	87.3	74.2

Les analyses réalisées en 2016 concernant les Éléments Traces Métalliques (ETM) font état :

- d'une légère contamination du Pilandre (PIL0-1 - exutoire de la grotte du Piley) en Arsenic (As), dont l'origine anthropique est très probable (arrivée directe par dépôt de déchets, utilisation de traitements phytosanitaires et/ou par érosion des sols en lien avec les changements de pratiques agricoles en amont) ;
- d'une nette contamination de la Raillette à l'aval du grand lac (RAI4-0) en Plomb (Pb) et en Étain (Sn). Cette station était déjà contaminée en 2011 par du Cuivre (Cu), du Pb et du Zinc (Zn), en lien avec l'ancien passé industriel de cette zone et de la contamination du lac en Pb (SRAE DE FRANCHE-COMTÉ 1984; DEGIORGI et al. 2008) ;
- d'une contamination en Sn de la Serra (1,9 mg/kg(MS) - SRA0-3) et de la Raillette en amont du petit lac (3,4 mg/kg(MS) - RAI1-1) ;
- d'une contamination en Sélénium (Se) de la Raillette en amont du petit lac (1,9 mg/kg(MS) - RAI0-8), avec la plus importante concentration mesurée en cours d'eau du département du Jura depuis 2005.

À l'inverse, la station RAI1-1 présentait en 2011 une contamination en Cadmium (Cd), Chrome (Cr) et Nickel (Ni) qui n'a pas été observée en 2016.

TABLE 3.10 – Résultats du suivi des toxiques (HAP) sur sédiments réalisé le 24/08/2016 selon la grille de qualité selon le SEQ-EAU V2. Une valeur absente indique une absence de mesure ou une valeur inférieure au seuil de quantification. En $\mu\text{g}/\text{kg MS}$

Paramètre	GER4-5	PIL0-1	RAI0-5	RAI0-8	RAI1-1	RAI2-2	RAI4-0	SRA0-3
Acénaphthène								
Acénaphthylène							362	
Anthracène							496	41
Benzène								
Benzo (a) Anthracène			18	14	17		1264	194
Benzo (a) Pyrène			16	11	12		1218	160
Benzo (b) Fluoranthène			22	16	17		1692	254
Benzo (ghi) Perylène			10				705	118
Benzo (k) Fluoranthène							552	78
Chrysène							1561	207
Dibenzo (a,h) Anthracène							124	
Fluoranthène						41	2594	355
Fluorène								
Indéno (1,2,3-cd) Pyrène							609	86
Naphtalène								
Phénanthrène							617	89
Pyrène							1860	300

Comme en 2011, la Raillette à l'aval du grand lac (RAI4-0) présente une importante contamination en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) (total de 13654 $\mu\text{g}/\text{kg}(\text{MS})$ en 2016 contre 9103 en 2011). À l'inverse, les autres afférences ne présentent qu'une très faible contamination, sauf la Serra. Ces molécules constituent une problématique régionale (BOURCEREAU 2009). La présence d'axes routiers coupant les affluents concerné semble être une explication.

Parmi les autres contaminants organiques détectés (voir tableau 3.11), on retrouve notamment :

- du Méthylphénol-4 (chlorocrésol), dépassant pour SRA0-3 et PIL0-1 la proposition de valeur guide de qualité pour les sédiments (eau douce) d'un facteur 8 et 14 respectivement (GROUPE D'EXPERTS 2011). Cette molécule peut être utilisée comme antiseptique et cicatrisant, en médecine vétérinaire comme humaine. Elle peut également être utilisée comme « additif biocide pour prévenir la prolifération de micro-organismes dans les fluides de coupe qui servent à lubrifier les machines dans l'industrie métallurgique » (EXPERTISE COLLECTIVE 2015).
- des Nonylphénols, observés sur RAI0-8, RAI4-0 et SRA0-3. Ce groupe de molécules, parmi de nombreux usages, peut être utilisé comme formulants ou coformulants de pesticides et biocides et émulsifiants de produits agricoles (EXPERTISE COLLECTIVE 2015).
- des pesticides : de l'antraquinone, du DDT4-4' et un de ses métabolites, le DDD4-4'.
- 11 congénères de PCB, au niveau de RAI1-1 et RAI4-0, soit les mêmes stations que celles où des PCB avaient déjà été observés en 2011. De plus, le spectre des congénères constatés en 2016 est très semblable à celui mis en évidence en 2011 (8 molécules sur 14 en commun). Ces produits sont classés parmi les Polluants Organiques Persistants (POP) du fait de leur très grande rémanence dans le milieu naturel (PICHARD 2005).
- un phtalate, le DEHP, utilisé comme plastifiant depuis plusieurs décennies et considéré comme un perturbateur endocrinien (BRIGNON et MALHERBE 2005).

TABLE 3.11 – Résultats du suivi des toxiques organiques (hors HAP) sur sédiments réalisé le 24/08/2016. Une valeur absente indique une absence de mesure ou une valeur inférieure au seuil de quantification. En µg/kg MS

Type	Paramètre	GER4-5	PIL0-1	RAI0-5	RAI0-8	RAI1-1	RAI2-2	RAI4-0	SRA0-3
Aldéhydes et cétones	Anthraquinone							62	29
	Nonylphénols mélange (linéaire ou ramifiés)							21	85
Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	Méthylphénol-4	354	7079	485	35	105	352	173	3643
	Autres phénols								5
Organochlorés	DDT 44'								9
	DDT 44'								
	PCB (arochlors), PCT, Dioxines, Furanes (PCDD, PCDF)								
	PCB 101					8		1	
	PCB 105					4			
	PCB 118					10			
	PCB 138					8		1	
	PCB 149					5		2	
	PCB 153					5		1	
	PCB 156					6		1	
	PCB 170					1			
	PCB 180					1			
Phtalates	PCB 44					1			
	PCB 52					4			
	Di(2-ethylhexyl)phtalate							634	260

3.2.6 Physico-chimie des eaux

Méthodes d'investigation

La qualité de l'eau du grand lac fait l'objet d'un suivi régulier au titre de la DCE (BUREAU D'ÉTUDES S.T.E. 2010 ; ONEMA 2011 ; COPPIN 2013 ; ONEMA 2013 ; BOURGEOT et OLIVETTO 2016). Ainsi, seul un suivi physico-chimique simple a été réalisé sur ce lac, avec, au niveau du point de plus grande profondeur et à la fin de la période de stratification estivale, l'évaluation de la transparence au disque de Secchi, accompagnée de mesures in-situ tous les mètres des paramètres suivants :

- O₂ dissous (concentration et saturation),
- pH,
- conductivité,
- température.

Résultats

Les résultats du suivi DCE réalisé pour le compte de l'AERMC en 2012 et en 2015 ne font pas état d'une contamination toxique inquiétante du Grand Lac de Clairvaux. Seuls certains ETM et des HAP ont été détectés en quantités faibles, ainsi du DEHP en 2012.

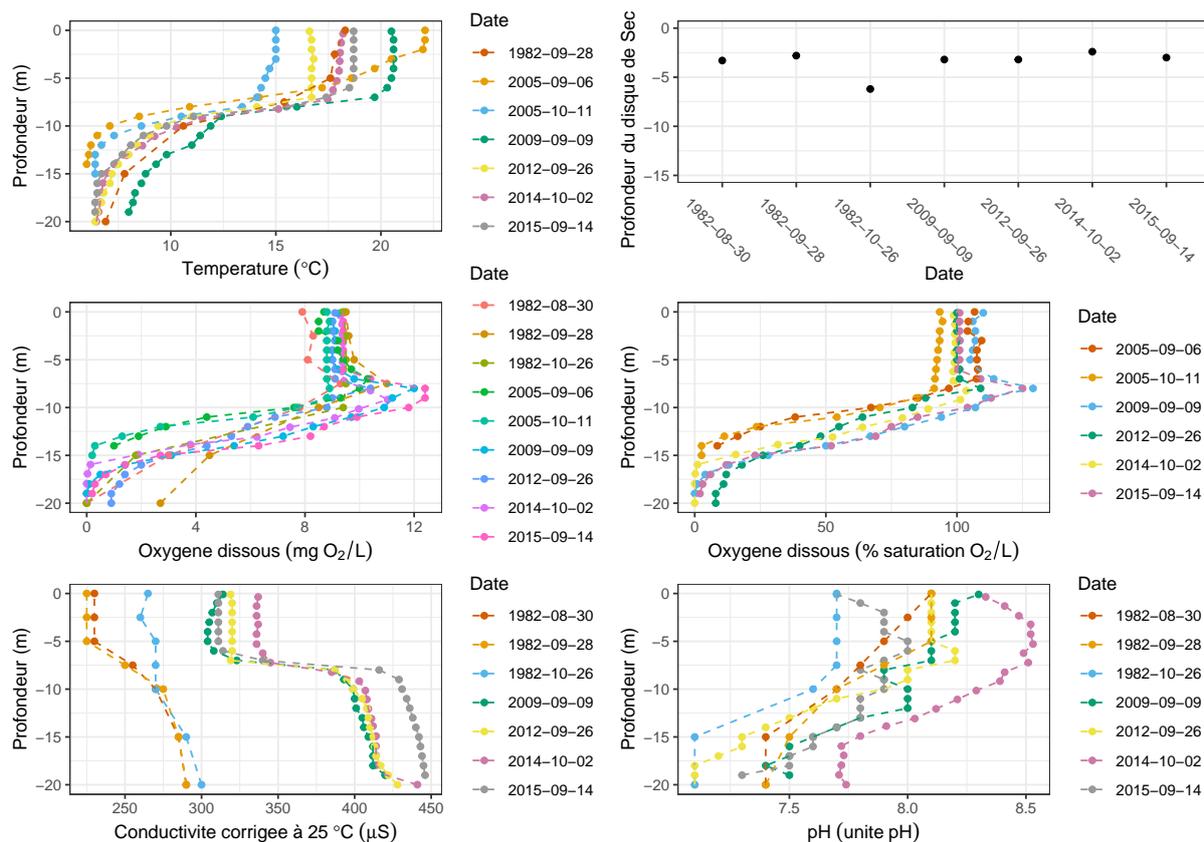


FIGURE 3.20 – Profils verticaux réalisés dans le grand lac de Clairvaux au point de plus grande profondeur en fin de période de stratification estivale

La synthèse des profils de mesures physico-chimiques réalisées lors des différentes campagnes de suivi du Grand lac de Clairvaux en fin de période de stratification estivale (figure 3.20) permet de tirer quelques observations (données historiques issues de SRAE DE FRANCHE-COMTÉ 1984 ; RAYMOND 2005 ; ONEMA 2011 ; FAGOT 2017a ; ESSERT 2017) :

- On ne peut pas conclure à une évolution de la profondeur d’extinction du disque de Secchi.
- Le spectre des **conductivités** observées (fourchette entre valeurs minimales et maximales) présente des valeurs en **nette augmentation** entre les campagnes de 1982, 2009 et celles des années 2010 (100 à 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La même tendance à l’augmentation a été observée sur de nombreux lacs du massif jurassien (FAGOT 2013 ; GEFFROY 2015 ; FAGOT 2016 ; ESSERT 2017 ; FAGOT 2018).
- Les **faibles valeurs d’oxygénation estivale en profondeur** observées au cours de ces suivis sur les 5 derniers mètres sont récurrentes sur l’ensemble des chroniques, avec une légère tendance à l’**intensification au cours des dernières décennies**.
- La demande en oxygène observée s’explique par des processus biologiques (rapport Demande Chimique en Oxygène (DCO)/Demande Biologique en Oxygène (DBO)), notamment afin de dégrader la **matière organique** accumulée dans le **sédiment**, grossière et d’origine macrophytique. Celle-ci constitue néanmoins une **faible fraction** (4,2 %) des sédiments, ceux-ci étant globalement composés de matériaux très fins et fins (BOURGEOIT et OLIVETTO 2016).

La qualité physico-chimique des afférences, de l’exutoire et du Grand lac de Clairvaux présente des situations contrastées :

- La **présence de pollutions toxiques** est **avérée** sur la Raillette en amont du Petit Lac et en aval du Grand lac, ainsi que sur la Serra. On observe notamment la présence d’HAP, de PCB, de produits phytosanitaires et d’ETM.
- Ces **constats** réalisés à l’échelle du bassin versant et des afférences des lacs de Clairvaux **ne se traduisent pas directement dans la physico-chimie du lac**, au moins à travers les analyses réalisées sur les sédiments dans le cadre du suivi DCE.

États des lieux

Les constats réalisés précédemment sont à mettre en relation. Le bassin d'alimentation alimentant le Petit lac était déjà globalement bien connu du fait de son utilisation pour l'AEP (CAILLE 2005). Néanmoins, la mise en évidence en 2011 de contaminations toxiques dans la Raillette à l'amont du Petit lac de Clairvaux, ainsi que la présence répertoriée d'une ancienne décharge exactement sur la limite du bassin versant supposé (ANONYME 1993), ont amené à préciser les écoulements du secteur. **Les eaux s'infiltrant dans la lapiaz situé au pied de ce dépotoir s'écoulent à travers la roche vers la source de la Serra**, puis vers la retenue de Vouglans.

Le bassin versant des lacs de Clairvaux est utilisé par l'Homme depuis très longtemps, avec une évolution des usages : initialement très agricole, puis de plus en plus urbanisé (développement urbain, tourisme, etc.) (FAGOT et GROUBATCH 2011).

- Malgré une nette diminution des surfaces bocagères et cultivées sur le territoire depuis les années 1950, les méthodes et les outils disponibles pour l'élevage et la production laitière ont fortement évolués, avec une forte amélioration de la production par Unité Gros Bétail (UGB), mais également une **production d'effluents et une utilisation de traitements vétérinaires accrue**. L'emploi de traitements anti-parasitaires ou de désinfection est aujourd'hui commun.
- L'apparition puis la forte expansion des infrastructures liées aux **activités touristiques a fortement anthropisé la rive droite du Grand Lac**. Pour mémoire, un rapport de 1857 du service hydraulique des Ponts et Chaussées (archives départementales) fait mention de « terrains marécageux tout autour du lac », et de « tourbes en rive droite ».
- Les différents usages du territoire ont enfin conduit à des **aménagements drastiques dans les parties basses des affluents** des lacs, à travers de multiples curages, drainages et rectifications, conduisant à la banalisation de ces milieux et à un intérêt moindre de leur capacité d'accueil d'espèces végétales et animales.

Les différentes activités passées et/ou actuelles décrites précédemment conduisent à une **contamination toxique de la Serra** dès sa source, affluent de la retenue de Vouglans. Les molécules observées (anthraquinone, nonylphénols mélangés, méthylphénol-4, DDT4-4' et DDD4-4') sont toutes potentiellement à usage agricole (désinfectants ou biocides). L'usage des plateaux répartis autour de Soucia, dont les exutoires karstiques alimentent la source de la Serra, est principalement agricole. La **décharge de Soucia constitue une menace pour la qualité des milieux aquatiques**, celle-ci étant littéralement située sur un lapiaz et contenant des déchets automobiles et autres « monstres ». Elle est par ailleurs toujours alimentée, a minima par des déchets verts et inertes (voir figure 4.1)



FIGURE 4.1 – Vue en 2015 de la décharge de Soucia

La Raillette en amont du Petit lac de Clairvaux contient des PCB, du Se et du Sn. Les observations sont en grande partie réalisées sur la station RAI1-1, située à l'aval de l'arrivée du Pilandre (cours d'eau formé à l'aval de la grotte du Piley), par opposition à la station RAI0-8, située en amont. **L'origine de ces molécules n'est donc pas élucidée à ce jour** malgré les investigations ici réalisées. La contamination au niveau de PIL0-1 était effectivement autre, avec notamment du Méthylphénol-4. Cette contamination par l'amont du Petit lac et en aval de cette confluence pouvait également être observée en 2011 via une nette arrivée de nitrates entre RAI0-8 et RAI1-1 (4,60 mg/L en aval contre 0,43 mg/L en amont). Cet apport observé de nutriments est d'ailleurs confirmé par le développement récent de cyanobactéries dans le Petit Lac, mis en lumière à travers le suivi opéré sur la qualité de l'AEP par le SIE du Petit Lac et l'ARS (comm. pers. Marcel Guerin). La question de la **pérennité à long terme de l'exploitation de cette ressource** peut donc être posée.

Les atteintes morphologiques de la zone littorale du Grand lac ainsi que de ses affluents **grèvent fortement** les surfaces d'**habitats** intéressants pour les espèces. Cette destructuration est par ailleurs amplifiée par la **mauvaise gestion du niveau du Grand lac**. Les manœuvres inopportunes du vannage (vétuste par ailleurs) engendrent de fortes baisses de hauteur d'eau à court terme, mais également un risque d'assec à l'aval. Le non-respect récurrent des cotes saisonnières, généralement avec des valeurs observées moindres, est également problématique en exondant certains habitats potentiels, dont la surface est déjà limitée par ailleurs.

Propositions d'action

L'ensemble de ces constats doit mener à des **actions visant à améliorer le fonctionnement de ces milieux naturels**.

5.1 Aménagement

Les principales mesures doivent permettre la réapparition d'habitats attractifs, diversifiés et épurateurs, ainsi que la restauration de la cote historique du lac, abaissée en vue d'une gestion hydraulique à l'aval au cours des siècles derniers :

- Le retour du Grand lac à sa cote historique, via le **réaménagement de l'ouvrage de régulation**. Cette action permettrait, dans l'idéal, une variation de la cote du Grand lac en fonction de l'hydrologie naturelle, en plus de remettre en eau de nombreux habitats ;
- La **restauration morphologique des parties aval des afférences du lac**. Ces opérations, en réhaussant la cote de fond du lit et en réduisant la section, permettraient de **reconstituer les habitats** de ces cours d'eau, en favorisant la recréation d'une hétérogénéité et d'une attractivité favorables aux espèces (poissons, macroinvertébrés, végétaux, etc.) ;
- La restauration de la **continuité écologique** permettrait de faciliter les transits biologiques et sédimentaires ;
- D'éventuels **aménagement restauratoires des zones humides** (comblement de drains, déboisement, aménagements, etc.) pourraient être envisagés en même temps, en fonction des objectifs de gestion de ces espaces.

Une réflexion est actuellement portée par la Commune de Clairvaux-les-lacs sur ce sujet, accompagnée par le Conseil Départemental du Jura (CD39). Un travail de définition du projet et de pré-dimensionnement a été réalisé (PÉRIAT, GRANDIDIER et FAGOT 2016), et un travail d'animation foncière est en cours afin d'obtenir une meilleure maîtrise autour du Grand Lac. **Cette démarche doit être menée à bien afin d'offrir de nombreux bénéfices environnementaux, archéologiques et sociétaux notamment.**

5.2 Usages sur le bassin versant

- **Les contaminations observées** sur la Serra et sur la Raillette en amont du Petit lac **doivent être résorbées**. Elles trouvent nécessairement, et en grande partie, leurs origines dans les activités anthropiques passées et actuelles ayant cours sur le bassin d'alimentation.
- **L'utilisation de l'ancienne décharge de Soucia comme dépôt sauvage doit cesser**, notamment via l'installation d'un grillage ou d'obstacles à la circulation si nécessaire.
- Le réalisation d'un **diagnostic des pratiques agricoles** est indispensable afin de réduire les éventuelles pratiques à risques.
- Une analyse des modalités et de la répartition temporelle des prélèvements et des consommations en AEP par le SIE du Petit lac permettrait de comprendre et de **contenir la récente forte augmentation des volumes prélevés**. Ceci passe notamment par l'accessibilité aux données fines de pompages par le SIE.
- Les modalités de mise en œuvre d'éventuels **traitements des bois** lors de stockages, d'exploitations et/ou de transports sont à préciser avec les gestionnaires de forêts publiques et privées.

5.3 Gestion

- Dans l'attente d'une restauration de l'ouvrage de régulation du niveau du lac, il est indispensable que la **gestion de la vanne** soit **mieux encadrée** afin que les variations de niveau et les écarts avec les valeurs de références observés ne soient plus.
- La viabilité de la population de corégones sur le lac ne nécessite pas de **gestion piscicole** particulière de l'espèce. Le brochet serait l'espèce qui bénéficierait vraisemblablement le plus des mesures de restauration de la cote historique du lac.

5.4 Suivi

- La **contamination par des molécules toxiques** (organiques et métalliques) des affluents et de la Serra doit faire l'objet de **suivis**, car ceux ici réalisés à 5 années d'intervalle montrent la persistance de la contamination, contrairement à celle observée dans le Grand lac qui tendait à s'amortir (DEGIORGI et al. 2008).
- Le suivi et l'entretien du **dispositif piézométrique** permettra de poursuivre une chronique fiable de la hauteur du lac. La même démarche est actuellement en cours d'établissement sur différents lacs naturels du massif jurassien (lacs de Bonlieu, du Val, de Chambly, d'Ilay, de Chalain et des Rousses a minima).
- La poursuite d'un **suivi physico-chimique** du lac, a minima sommaire, en fin de période de stratification estivale et idéalement hivernale, permettrait d'avoir une chronique de l'évolution de la désoxygénation de la zone profonde. Ce suivi est actuellement partiellement mené par le CD39 et la FJPPMA. Cette action est réalisée en complément du suivi DCE réalisé par l'AERMC.

- La réalisation de **suivis physico-chimiques de la qualité de l'eau de la Serra**, notamment concernant les nutriments, serait à envisager en tenant compte de la présence de quelques habitations.

5.5 Connaissance

- L'**amélioration des connaissances** quant à la nature, la localisation, les quantités et l'origine des **contaminations toxiques** observées dans les afférences des lacs permettrait d'en préciser l'origine, facilitant d'autant leur traitement.
- La réalisation d'un Indice Biotique Lacustre (IBL) dans chacun des deux lacs permettrait d'établir un **état des lieux de la faune benthique** de ceux-ci.
- Le prélèvement de **carottes de sédiments** permettrait de faire avancer la connaissance du fonctionnement passé et actuel des deux plans d'eau (aujourd'hui seule une analyse globale entre plusieurs dizaines de plans d'eau est réalisée - Comm pers. Laurent Millet). Cette approche a permis de faire évoluer la connaissance du fonctionnement trophique de lacs jurassiens (Narlay notamment, grand Maclu) (BELLE et al. 2014 ; BELLE et al. 2015 ; BELLE et al. 2016b ; BELLE et al. 2016a). Le même type d'analyse a été réalisé concernant les lacs des Rousses et de Bonlieu.
- Le **suivi piscicole** serait à renouveler a minima dans la prochaine décennie, idéalement après 5 années, temps de renouvellement approximatif du peuplement piscicole.

5.6 Synthèse

Le tableau 5.1 établi une synthèse des actions à entreprendre et détaillées dans les sections précédentes.

TABLE 5.1 – Synthèse des actions à entreprendre

Type	Thématique	Objectif	Action
Aménagements	Hydrologie	Cote historique du lac	- Maîtrise foncière - Réhausse de la cote
	Habitats	Restauration morphologique des parties aval des afférences	- RAILLETTE - Autres affluents directs
Usages	Continuité écologique	Restauration morphologique des zones humides Aménagement d'ouvrages	- Oblitération des fossés de drainage - Buse entre les deux lacs - Seuil de la piscine de la colonnie de Saint-Ouen - Plan d'eau AEP de la colonnie de Saint-Ouen
	Décharge	Stopper les arrivées de nouveaux déchets	- Inaccessibilité du site
Gestion	Agriculture	Connaître et améliorer si nécessaire les pratiques	- Diagnostic des pratiques
	AEP	Limiter l'augmentation des prélèvements	- Diagnostic des prélèvements
	Exploitation sylvicole	Connaître et améliorer si nécessaire les pratiques	- Diagnostic des pratiques
Suivi	Variation du niveau du lac	Variations raisonnées de la cote	- Gestion du vannage
	Gestion piscicole	Gestion patrimoniale	- Restauration des habitats de reproduction du brochet
Suivi	Eau des affluents	Toxiques Nutriments	- Suivi régulier - Suivi à réaliser
	Eau du lac	Hauteurs d'eau Physico-chimie	- Poursuite du suivi piézométrique - Poursuite d'un suivi en fin de périodes de stratification hivernale et estivale

Connaissance	Bassin versant	Toxiques	- Origine des pollutions observées - Analyse et interprétation des carottes de sédiments - IBL - Renouvellement du suivi piscicole
	Sédiments	Historique	
	Eau du lac	Biologie	

Conclusion

L'utilisation du bassin versant des lacs de Clairvaux a fortement évolué depuis le début du XX^e siècle. Une déprise agricole s'est opérée au profit des surfaces forestières et de la création d'un pôle touristique d'importance à l'échelle du massif jurassien. Les activités industrielles historiques ont également subi un fort déclin.

Des activités humaines passées et vraisemblablement actuelles engendrent la présence de contaminants toxiques dans les hydrosystèmes du territoire, dont les sources ne sont pas clairement identifiées.

D'anciens travaux de curage et de réaménagement de l'exutoire du lac et de certaines afférences ont engendré une baisse de la cote du lac. Ces interventions physiques ont également eu pour effet de réduire fortement les habitats naturels de nombreuses espèces vivantes du fait d'une déstructuration et/ou d'un caractère moins humide.

La gestion du niveau du Grand lac opérée depuis plusieurs années n'est pas compatible avec une préservation de ses milieux naturels, mais également des vestiges archéologiques palafittes reconnus au Patrimoine Mondial de l'UNESCO. Le caractère moins humide des zones concernées conduit à une atteinte directe par mise en contact avec de l'oxygène, mais également à travers l'implantation d'une végétation ligneuse, dont les racines vont remobiliser les dépôts.

Afin de restaurer le fonctionnement écologique de cet ensemble de milieux naturels (lac, zones humides, cours d'eau), il apparaît indispensable d'engager un ambitieux programme de travaux de reconquête. Cette démarche doit passer par un éventail d'opérations complémentaires telles que la restauration physique de la cote du lac, l'évolution de certaines pratiques sur le territoire et/ou d'aménagements de l'espace.

Ces actions opérationnelles doivent être accompagnées par la mise en œuvre et/ou par la poursuite de mesures d'acquisition de connaissance, de suivi et de gestion, afin de pouvoir en contrôler l'efficacité et les éventuelles limitations.

C'est seulement à travers ces opérations complémentaires et nécessairement concertées que l'environnement des lacs de Clairvaux avancera vers une amélioration écologique, donc paysagère, culturelle et sociale.

Bibliographie

- AESCHBACHER, Agnès et al. (1983). « Poissons Des Lacs : Écologie. Essai de Cartographie Piscicole Appliquée Aux Lacs Du Jura : L'Abbaye, Clairvaux, Les Rousses, Saint-Point ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Besançon : Université de Franche-Comté.
- AFNOR (2005). *NF EN 14757 T90-366 : Qualité de l'eau – Échantillonnage Des Poissons à l'aide de Filets Maillants*.
- ALEXANDER, T. J. et al. (2015a). « Estimating Whole-Lake Fish Catch per Unit Effort ». In : *Fisheries Research* 172, p. 287-302.
- ALEXANDER, Timothy J. et al. (jan. 2015b). « Evaluating Gillnetting Protocols to Characterize Lacustrine Fish Communities ». In : *Fisheries Research* 161, p. 320-329. ISSN : 0165-7836. DOI : 10.1016/j.fishres.2014.08.009.
- ANONYME (1993). *Décharges Communales - Inventaire Départemental Des Dépôts Sauvages et Décharges Brutes*. Rapp. tech. SYDOM, p. 2040.
- ANONYME (1999). « Système d'évaluation de La Qualité Des Cours d'eau, Rapport de Présentation SEQ-Eau (Version 2) ». In : *Les études des Agences de l'Eau* 64.64, p. 59.
- ANZALA, Fabiola et al. « Etude de l'activité in Vivo de l'aspartate Kinase Par Suivi Isotopique (15 N) ». In : () .
- AUGUIE, Baptiste (2017). *gridExtra : Miscellaneous Functions for "Grid" Graphics*.
- BAILLY, Gilles et al. (avr. 2007). *Étude et Cartographie de La Flore et de La Végétation de Dix Lacs Du Massif Jurassien. Petit et Grand Lacs de Clairvaux (Jura), Lac Du Vernois (Jura), Lac Du Fioget (Jura), Lac de Malpas (Doubs), Lac de Remoray (Doubs), Lac de Saint-Point (Doubs), Lacs de Bellefontaine et Des Mortes (Jura et Doubs) et Lac Des Rousses (Jura)*. Rapp. tech. Besançon : Conservatoire botanique de Franche-Comté, p. 132.
- BARBE, Jacques (1983). « Ceintures Végétales et Peuplements Planctoniques Des Lacs de Clairvaux (Massif Du Jura) ». In : *Annales Scientifiques de l'Université de Franche-Comté - Biologie Végétale* 4è série.Fascicule 4, p. 25-35.
- BARBE, Jacques et al. (juin 2006). *Diagnose Du Petit Lac de Clairvaux (Jura)*. Rapp. tech. Lyon : CEMAGREF, p. 29.
- BARBEY, Bruno et al. (1990). « Recherches Sur La Macrofaune Benthique de Trois Lacs Jurassiens : Saint-Point, Abbaye, Clairvaux ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Besançon : Université de Franche-Comté.
- BELLE, Simon et al. (août 2014). « Temporal Changes in the Contribution of Methane-Oxidizing Bacteria to the Biomass of Chironomid Larvae Determined Using Stable

- Carbon Isotopes and Ancient DNA ». en. In : *Journal of Paleolimnology*, p. 1-14. ISSN : 0921-2728, 1573-0417. DOI : 10.1007/s10933-014-9789-z.
- BELLE, Simon et al. (fév. 2015). « Assemblages and Paleo-Diet Variability of Subfossil Chironomidae (Diptera) from a Deep Lake (Lake Grand Maclu, France) ». en. In : *Hydrobiologia*, p. 1-16. ISSN : 0018-8158, 1573-5117. DOI : 10.1007/s10750-015-2222-4.
- BELLE, Simon et al. (avr. 2016a). « 20th Century Human Pressures Drive Reductions in Deepwater Oxygen Leading to Losses of Benthic Methane-Based Food Webs ». In : *Quaternary Science Reviews* 137, p. 209-220. ISSN : 0277-3791. DOI : 10.1016/j.quascirev.2016.02.019.
- BELLE, Simon et al. (2016b). « Climate and Human Land-Use as a Driver of Lake Narlay (Eastern France, Jura Mountains) Evolution over the Last 1200 Years : Implication for Methane Cycle ». English. In : *Journal of Paleolimnology* 1.55, p. 83-96. ISSN : 0921-2728, 1573-0417. DOI : 10.1007/s10933-015-9864-0.
- BELLE, Simon et al. (avr. 2016c). « Increase in Benthic Trophic Reliance on Methane in 14 French Lakes during the Anthropocene ». en. In : *Freshwater Biology*, n/a-n/a. ISSN : 1365-2427. DOI : 10.1111/fwb.12771.
- BERNARD, M. et al. (1985). « Recherches Sur Les Sédiments de Six Lacs de Franche-Comté. Études Des Paramètres Physico-Chimiques Des Sédiments ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Université de Franche-Comté.
- BIDAUT, Françoise et al. (1983). « Recherche Sur Les Sédiments et La Faune Benthique de Quatre Lacs Du Jura : Saint-Point, Clairvaux, l'Abbaye, Les Rousses ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Université de Franche-Comté.
- BIVAND, Roger, Tim KEITT et Barry ROWLINGSON (2017). *Rgdal : Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*.
- BORDERELLE, A.L. et al. (2008). « Macroinvertebrate ^{13}C Variability Analysis for the Assessment of Lake Trophic Functioning ». In : *Fundamental and Applied Limnology / Archiv für Hydrobiologie* 172.4, p. 289-300. DOI : 10.1127/1863-9135/2008/0172-0289.
- BORDERELLE, Anne-Laure (2005). *Evaluation de La Qualité Biologique de Quatre Lacs Du Jura et de Trois Lacs Alpains - Application de l'Indice Biologique Lacustre (IBL) - Rapport d'avancement*. Rapp. tech. Besançon : Laboratoire de Biologie Environnementale.
- (2006). « Evolution Bathymétrique Des Signatures Isotopiques En Carbone Des Macroinvertébrés et Fonctionnement Trophique Des Lacs. Relations Avec Le Peuplement Pisciaire et Les Caractéristiques Des Bassins Versants. » Thèse de Doctorat. 139 : Université de Franche-Comté.
- BORDERELLE, Anne-Laure et al. (2009). « Influence of Watershed's Anthropogenic Activities on Fish Nitrogen and Carbon Stable Isotope Ratios in Nine French Lakes ». In : *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystem* 392, p. 1-13.
- BOUCHESEICHE, Claire et al. (2002). *Pollution Toxique et Écotoxicologie : Notions de Base*. Rapp. tech. 7. Lyon : Agence de l'eau RMC, p. 83.
- BOURCEREAU, Laurence (2009). *Accumulation Des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) Dans Les Sédiments de La Rivière Doubs - Rapport Final*. Rapp. tech. Besançon : CG25/Université de Franche-Comté, p. 49.
- BOURGEOIT, François et Arnaud OLIVETTO (août 2016). *Surveillance de La Qualité Des Plans d'eau Des Bassins Rhône Méditerranée Corse - Suivi 2014 - Rapport de Données*

- et d'interprétation – Grand Lac de Clairvaux (Jura)*. Rapp. tech. Agence de l'eau RMC, p. 24.
- BRIGNON, Jean-Marc et L. MALHERBE (mai 2005). *Données Technico-Économiques Sur Les Substances Chimiques En France : DI(2-ETHYLHEXYL)PHTHALATE*. Rapp. tech. INERIS, p. 32.
- BUREAU D'ÉTUDES S.T.E. (mai 2010). *Étude Des Plans d'eau Du Programme de Surveillance Des Bassins Rhône - Méditerranée et Corse - Grand Lac de Clairvaux (39) - Rapport de Données Brutes - Suivi Annuel 2009*. Rapp. tech. 08-283/ 2010-PE2009-08. Agence de l'eau RMC, 34 + annexes.
- CAILLE, Christian (2001). *Dossier Préliminaire de Mise En Place Des Périmètres de Protection - Colonie de Saint-Ouen (Département Du Jura)*. Rapp. tech. Chaux-des-Prés : Agence de l'eau RMC.
- (2005). *Dossier d'enquête publique - SIE du petit lac de Clairvaux (Département du Jura)*. 12 pièces. Rapp. tech. Chaux-des-Prés : Agence de l'eau RMC.
- CAILLE, Rémi (oct. 2016). *Traçage Par Coloration de l'ancienne Décharge de Soucia*. Rapp. tech. Prénovel : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 10.
- CHAURIS, H. (1992). « Étude Sur Les Formes Principales de La Matière Organique Des Sédiments Lacustres Du Jura - Lacs de l'Abbaye, Clairvaux, Ilay et Saint-Point ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Université de Franche-Comté.
- CLOZEL-LELOUP, B. (avr. 2003). *Valeurs Guides Intervenant Dans La Gestion Des Sédiments et Méthodologie d'élaboration de Ces Valeurs : Synthèse Bibliographique*. Rapp. tech. BRGM/RP-51735-FR. BRGM.
- COLLECTIF (déc. 2014). *Avis Du CSRPN 2014-13 : Validation Des Listes Rouge Régionale et Des Espèces Déterminantes ZNIEFF Pour Les Poissons*.
- (mar. 2016). *Guide Technique Relatif à l'évaluation de l'état Des Eaux Continentales (Cours d'eau, Canaux, Plans d'eau)*. Rapp. tech. La Défense : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, p. 106.
- COPPIN, Hervé (sept. 2013). *Étude Des Plans d'eau Du Programme de Surveillance Des Bassins Rhône - Méditerranée et Corse - Grand Lac de Clairvaux (39) - Rapport de Données Brutes - Suivi Annuel 2012*. Rapp. tech. 08-283/2013-PE2012-07. Agence de l'eau RMC, p. 39.
- DAHL, David B. (fév. 2016). *Xtable : Export Tables to LaTeX or HTML*.
- DEGIORGI, François, Jean-Claude RAYMOND et Jean-Pierre GRANDMOTTET (2003). *Analysis of Quantitative Structures of the Lake Ichthyofauna by Standard Use of Vertical Nets*. Rapp. tech., p. 13.
- DEGIORGI, François et al. (2008). *Analyse Des Contaminations Métalliques Du Grand Lac de Clairvaux En 2005-2006*. Rapp. tech. APPMA Clairvaux les lacs, p. 35.
- DELEBECQUE, André (1898). *Les lacs français*. français. Typographie Chamerot et Renouard. Paris.
- Directive 2000/60/CE Du Parlement Européen et Du Conseil Du 23 Octobre 2000 Établissant Un Cadre Pour Une Politique Communautaire Dans Le Domaine de l'eau* (oct. 2003).
- DIREN DE FRANCHE-COMTÉ (déc. 1999). « Les Lacs de Clairvaux ». In : *Les Lacs Du Département Du Jura et Leur Bassin Versant*. Besançon, p. 121-135.
- DIREN FRANCHE-COMTÉ (oct. 1998). *Les Lacs Du Département Du Jura et Leur Bassin Versant - Synthèse Des Données - Propositions de Gestion*. Rapp. tech. Conseil Général du Jura - Agence de l'eau RMC - DIREN de Franche-Comté, p. 90.

- DUNNINGTON, Dewey et Edgar RUIZ (2018). *Ggsatial : Spatial Data Framework for Ggplot2*.
- ENVIRONNEMENT CANADA (2007). *Critères Pour l'évaluation de La Qualité Des Sédiments Au Québec et Cadres d'application : Prévention, Dragage et Restauration*. Rapp. tech. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, p. 39.
- ESSERT, Valentin (2017). « Synthèse et Analyse de Données Physico-Chimiques Sur Les Lacs Du Département Du Jura ». Mémoire de Travail d'Étude et de Recherche. Lons-le-Saunier : Université de Franche-Comté.
- EXPERTISE COLLECTIVE (déc. 2015). *Caractérisation Des Dangers et Des Expositions Du 4-Chloro-3- Méthylphénol Ou p-Chlorocrésol - Avis de l'Anses*. Rapp. tech. Maisons-Alfort : ANSES, p. 116.
- FAGOT, Jean-Baptiste (2011a). *Impacts de La Gestion Du Niveau Des Lacs Sur Leur Métabolisme et Sur Leurs Capacités Biogènes - Synthèse Bibliographique*. Rapp. tech. Besançon : Université de Franche-Comté, p. 34.
- (2011b). « Inventaire Des Pressions Anthropiques s'exerçant Sur Le Lac de Clairvaux et Sur Son Bassin-Versant et Analyse de Leurs Impacts Sur Les Milieux Aquatiques (39) ». Mémoire de Master 2 Qualité Des Eaux, Des Sols et Traitements. Lons-le-Saunier : Université de Franche-Comté.
- (2012). « Bilan de l'étude Menée Par Jean Baptiste Fagot Sur Les Pollutions Des Lacs de Clairvaux ». In : *Ain Rivière Propre*, p. 4-5.
- (2013). *Diagnose Piscicole Du Lac de Chalain*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la pêche et la protection du milieu aquatique, p. 50.
- (mar. 2015). *Niveau Du Grand Lac de Clairvaux - Suivi 2011-2014*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 18.
- (juil. 2016). *Diagnostic Piscicole et Propositions d'actions - Lac de Bonlieu (39)*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 44.
- (jan. 2017a). *Lacs Du Département Du Jura - Observations Physico-Chimiques (2014)*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 35.
- (fév. 2017b). *Lacs Du Département Du Jura - Observations Physico-Chimiques (2016)*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 43.
- (mar. 2018). *Inventaire Des Pressions Anthropiques et Analyse de Leurs Impacts Sur Les Milieux Aquatiques - Lac Des Rousses (39) - Rapport et Propositions d'action*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : FJPPMA, p. 66.
- FAGOT, Jean-Baptiste et Thomas GROUBATCH (nov. 2011). *Recherche Des Causes de Perturbation Du Grand Lac de Clairvaux*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 67.
- GEFFROY, Sixtine (juin 2015). *Bilan Des Connaissances Sur l'état Écologique Du Lac de Remoray et de Son Bassin Versant*. Rapp. tech. Besançon : Réserve naturelle du lac de Remoray - Laboratoire Chrono-Environnement, p. 76.
- GIMARET, Hervé (1988). « Bilan de La Macrofaune Benthique Récoltée Dans 14 Lacs Du Jura. Analyse En Fonction de La Profondeur ». Mémoire de DUEHH. Université de Franche-Comté.

- GRAC, C. et V. MAILLARD (1992). « Essai de Caractérisation Physico-Chimique de Quatre Lacs Du Jura : Abbaye, Bonlieu, Grand Clairvaux et Saint-Point - Classement de Neuf Lacs ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Université de Franche-Comté.
- GRANDMOTTET, Jean-Pierre (1983). « Principales Exigences Des Téléostéens Dulcicoles Vis-à-Vis de l'habitat Aquatique ». In : *Annales scientifiques de l'Université de Franche-Comté* 4ème série, Fascicule 4, p. 3-25.
- GROLEMUND, Garrett et Hadley WICKHAM (2011). « Dates and Times Made Easy with Lubridate ». In : *Journal of Statistical Software* 40.3, p. 1-25.
- GROUPE D'EXPERTS (mar. 2011). *Normes de Qualité Environnementale : 4-CHLORO-3-METHYLPHENOL – N° CAS : 59-50-7*. Rapp. tech. DRC-11-112070-03633A. INERIS, p. 17.
- GUERY, Corinne et al. (1987). « Contribution à l'étude Des Sédiments Des Lacs Jursiens (Abbaye, Clairvaux, Les Rousses) ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Besançon : Université de Franche-Comté.
- KAHLE, David et Hadley WICKHAM (2013). « Ggmap : Spatial Visualization with Ggplot2 ». In : *The R Journal* 5.1, p. 144-161.
- KEITH, Philippe et al. (2011). *Les poissons d'eau douce de France*. français. Inventaires et biodiversité. Paris : Biotope. ISBN : 978-2-914817-69-1.
- LAFONT, M., J. JUGET et G. ROFES (1991). « Un Indice Biologique Lacustre Basé Sur l'examen Des Oligochètes ». In : *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science* 4.2, p. 253-268.
- LAMAIRESSE, Pierre-Eugène (1873). *Études hydrologiques sur les monts Jura, mémoire*. français. Paris, France : Dunod.
- LEPRIEUR, Fabien et Christian ROSSIGNON (2003). « Etude de l'ichtyofaune Lacustre Par La Mise En Oeuvre Du Protocole Filets Verticaux - Etats Du Peuplement Des Lacs d'Illay, de Clairvaux et de Remoray - Variabilité Spatio-Temporelles Lors de La Campagne d'été 2003 - Régimes Alimentaires ». Mémoire de DESS "Qualité et Traitement Des Eaux et Des Bassins Versants". Université de Franche-Comté.
- LEVET, Danielle (fév. 2008). *Guide Pratique Des Substances Toxiques Dans Les Eaux Douces et Littorales Du Bassin Seine-Normandie*. Rapp. tech. Agence de l'eau Seine-Normandie.
- Loi 2006-1772 Du 30 Décembre 2006 Sur l'eau et Les Milieux Aquatiques* (déc. 2006).
- MAGNIN, Antoine (1904). *Les lacs du Jura t.4 : Monographies botaniques de 74 lacs jurassiens : suivies de considération générales sur la végétation lacustre*. français. Paris, France : P. Klincksieck.
- MAGNY, M. (1992a). « Sédimentation et dynamique de comblement dans les lacs du Jura au cours des 15 derniers millénaires ». fr. In : *Revue d'Archéométrie* 16.1, p. 27-49. ISSN : 0399-1237. DOI : 10.3406/arsci.1992.890.
- MAGNY, M., H. RICHARD et J. EVIN (1988). « Nouvelle Contribution a l'histoire Holocène Des Lacs Du Jura Français : Recherches Sédimentologiques et Palynologiques Sur Les Lacs de Chalain, de Clairvaux et de l'Abbaye ». In : *Revue de Paléobiologie* 7, p. 11-23.
- MAGNY, Michel (1978). *La Dynamique Des Depots Lacustres et Les Stations Littorales Du Grand Lac de Clairvaux (Jura)*. Ed. du Centre national de la recherche scientifique.
- (1992b). « Holocene Lake-Level Fluctuations in Jura and the Northern Subalpine Ranges, France : Regional Pattern and Climatic Implications ». In : *Boreas* 21.4, p. 319-334.

- MAGNY, Michel (1993). « Une Nouvelle Mise En Perspective Des Sites Archéologiques Lacustres : Les Fluctuations Holocènes Des Lacs Jurassiens et Subalpins ». In : *Gallia préhistoire* 35.1, p. 253-282. ISSN : 0016-4127. DOI : 10.3406/galip.1993.2088.
- (2004). « Fluctuations Du Niveau Des Lacs Dans Le Jura, Les Préalpes Françaises Du Nord et Le Plateau Suisse, et Variabilité Du Climat Pendant l'Holocène ». In : *Méditerranée* 102.1, p. 61-70. ISSN : 0025-8296. DOI : 10.3406/medit.2004.3341.
- MALAVOI, Jean-René (1989). « Typologie Des Faciès d'écoulement Ou Unités Morphodynamiques Des Cours d'eau à Haute Énergie ». In : *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 315, p. 22. DOI : 10.1051/kmae:1989003.
- MARTIN, C. *Distribution et Évolution Des Nitrates Dans Les Lacs Jurassiens - Exploitation Des Suivis Physico-Chimiques*. Rapp. tech. Besançon : Laboratoire d'hydrobiologie du Centre Pluridisciplinaire d'Etude des Eaux Continentales de l'Université de Besançon, p. 16.
- (1993). « Analyse Comparative Du Seston Estival de 9 Lacs Du Jura Français ». In : *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 29.03, p. 365-381. DOI : 10.1051/limn/1993029.
- (1994). « Lacs de Franche-Comté (Massif Du Jura). Recherches Sur Le Seston, plus Particulièrement Sur Le Trypton Organique ». Thèse de Doctorat. Université de Franche-Comté.
- MASSON, J.-P. (jan. 1984). *Les Lacs de Clairvaux - Résumé Des Études - Propositions Pour Leur Protection*. Rapp. tech. SRAE de Franche-Comté, p. 10.
- MÉDIÉVAL - AFDP et al. (juin 2014). *Étude de Valorisation Touristique et Culturelle Des Sites Archéologiques de Chalain et Clairvaux-Les-Lacs*. Rapp. tech. Conseil Général du Jura, p. 143.
- MOILLERON, R. et al. (1996). « HPLC and Ninhydrin Photometric Determination of Amino Acids in CaCO₃ Rich Lacustrine Sediments of the Jura Region, France. » English. In : *Annales De Limnologie-International Journal of Limnology* 32.3, p. 197-204. ISSN : 0003-4088. DOI : 10.1051/limn/1996018.
- MOUTHON, J. (jan. 1986). « Principes Généraux Pour Une Méthode d'appréciation de La Qualité Globale Des Sédiments Lacustres à l'aide d'une Analyse Simplifiée Des Malacocénoses ». In : *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 22.03, p. 209-217. ISSN : 2100-000X. DOI : 10.1051/limn/1986019.
- (1989). « Analyse de La Distribution Des Malacocénoses de 23 Lacs Français ». In : *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 25.03, p. 205-213. DOI : 10.1051/limn/1989021.
- (1992a). « Peuplements Malacologiques Lacustres En Relation Avec La Physico-Chimie de l'eau et Des Sédiments. II. Les Espèces ». In : *Annales de Limnologie* 28.2, p. 109-119.
- (1993). « Un Indice Biologique Lacustre Basé Sur l'examen Des Peuplements de Mollusques ». In : *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 331, p. 397-406. ISSN : 0767-2861. DOI : 10.1051/kmae:1993005.
- MOUTHON, Jacques (oct. 1992b). « Snail and Bivalve Populations Analysed in Relation to Physico-Chemical Quality of Lakes in Eastern France ». en. In : *Hydrobiologia* 245.3, p. 147-156. ISSN : 0018-8158, 1573-5117. DOI : 10.1007/BF00006155.
- MUNCH, Laetitia et Jean-Claude RAYMOND (juil. 2015). *Contribution à l'évaluation de l'altération Hydromorphologique Des Plans d'eau Des Bassins Rhône-Méditerranée et Corse - Application Des Protocoles AlBer et CHaRLi - Rapport Final*. Rapp. tech. Thonon-les-Bains : ONEMA.

- NBCE (nov. 2008). *Les Lacs de Clairvaux (39) - Synthèse Écologique*. Rapp. tech. Agence de l'eau RMC - Conseil général du Jura, p. 84.
- NEDJAI, Rachid, N. Messaoud NACER et Martine LANSON (avr. 2012). « A History of Lead Pollution in Nine Lakes in the Franche-Comté Region, Eastern France, through the Analysis of Lakebed Sediments ». In : *Internationale Journal of Water Resources and Environment Management* 1.2, p. 119-133.
- NISBET, M et Jean VERNEAUX (1970). « Composantes Chimiques Des Eaux Courantes - Discussion et Proposition de Classes En Tant Que Bases d'interprétation Des Analyses Chimiques ». In : *Annales de Limnologie* 6.2, p. 161-190.
- NOURY, Linda (déc. 13). *Surveillance Des Cyanobactéries Dans l'eau Potable - Petit Lac de Clairvaux*.
- ONEMA (déc. 2011). *Suivi Des Plans d'eau Des Bassins Rhône-Méditerranée et Corse En Application de La Directive Cadre Sur l'Eau - Note Synthétique d'interprétation Des Résultats - Grand Lac de Clairvaux - Campagnes 2009*. Rapp. tech. AERMC - ONEMA, p. 3.
- (nov. 2013). *Suivi Des Plans d'eau Des Bassins Rhône-Méditerranée et Corse En Application de La Directive Cadre Sur l'Eau - Note Synthétique d'interprétation Des Résultats - Grand Lac de Clairvaux - Campagnes 2012*. Rapp. tech. AERMC - ONEMA, p. 3.
- PEBESMA, Edzer (2018). « Simple Features for R : Standardized Support for Spatial Vector Data ». In : *The R Journal*.
- PEBESMA, Edzer, Thomas MAILUND et James HIEBERT (2016). « Measurement Units in {R} ». In : *The R Journal* 8.2, p. 486-494.
- PÉRIAT, Guy, Pierre GRANDIDIER et Jean-Baptiste FAGOT (oct. 2016). *Projet de Restauration Des Lacs de Clairvaux et de Leurs Affluents*. Rapp. tech. Montmelon : Commune de Clairvaux-les-lacs, p. 72.
- PETA, D. et F. GENTET (1990). « Étude Des Formes de La Matière Organique de Trois Lacs Jurassiens : Clairvaux ; Abbaye, Saint Point ». Mémoire de DESS "Eaux Continentales". Université de Franche-Comté.
- PÉTREQUIN, Pierre (1989). *Les Sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs, Jura. II, Le Néolithique moyen*. français. Archéologie et culture matérielle, ISSN 0761-0246. Paris : Ed. de la Maison des sciences de l'homme. ISBN : 2-7351-0339-0.
- PÉTREQUIN, Pierre et Anne-Marie PÉTREQUIN (mai 1991). *Le Néolithique des lacs. Pré-histoire des lacs de Chalain et de Clairvaux (4000-2000 av. J.-C.)* Français. Errance. Paris : Errance. ISBN : 978-2-903442-77-4.
- (2001). *Clairvaux 2001 : Trois Millénaires d'habitat Lacustre*. Rapp. tech. Besançon : CNRS et CRAVA, p. 331.
- (jan. 2016). *Clairvaux et le « Néolithique Moyen Bourguignon »*. Français. Presses Universitaires de Franche-Comté. ISBN : 978-2-84867-535-0.
- PICHARD, Annick (nov. 2005). *Fiche de Données Toxicologiques et Environnementales Des Substances Chimiques : PolyChloroBiphényles*. Rapp. tech. INERIS, p. 70.
- PostGIS (2017).
- POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP (oct. 2017). *PostgreSQL*.
- PRAICHEUX, Jean (1972). « Aménagement et protection de la nature : l'exemple franc-comtois ». fr. In : *Revue Géographique de l'Est* 12.4, p. 351-376. ISSN : 0035-3213. DOI : 10.3406/rgest.1972.1231.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (sept. 2018). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation.

- R CORE TEAM (mar. 2017). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienne, Autriche.
- RAYMOND, Jean-Claude (2005). *Le Grand Lac de Clairvaux - État Du Peuplement Piscicole - Campagne 2002-2003*. Rapp. tech. Lyon : Conseil Supérieur de la Pêche, p. 18.
- RSTUDIO TEAM (2017). *RStudio : Integrated Development for R*. RStudio. RStudio, Inc. Boston, MA.
- SCHIAVONE, S et Marina COQUERY (2011). *Guide d'échantillonnage et de Pré-Traitement Des Sédiments En Milieu Continental Pour Les Analyses Physico-Chimiques de La DCE*. Rapp. tech. Lyon : Aquaref - CEMAGREF, p. 24.
- SCHLUMBERGER, Olivier et Pierre ÉLIE (2008). *Poissons des lacs naturels français : écologie et évolution des peuplements*. français. Versailles : Quae. ISBN : 978-2-7592-0030-6.
- SCHLUMBERGER, Olivier et Patrick GIRARD (2013). *Mémento de pisciculture d'étang*. français. 5ème édition. Versailles : Éditions Quae. ISBN : 978-2-7592-1895-0.
- SLOWIKOWSKI, Kamil (2018). *Ggrepel : Repulsive Text and Label Geoms for 'Ggplot2'*.
- SRAE DE FRANCHE-COMTÉ (jan. 1984). *Les Lacs de Clairvaux - Monographies Écologiques*. Rapp. tech., p. 99.
- TÉLÉOS (2000). *Méthode Standard d'analyse Globale de La Qualité de l'habitat Aquatique, Dite "Méthode Tronçon"*. Rapp. tech.
- VERNEAUX, J, A SCHMITT et V VERNEAUX (1995). « Classification Biologique Des Lacs Jurassiens à l'aide d'une Nouvelle Méthode d'analyse Des Peuplements Benthiques III. Relations Entre Données Biologiques et Variables Du Milieu ». In : *Annals of Limnology* 31, p. 277-286.
- VERNEAUX, J, V VERNEAUX et A GUYARD (1993a). « Classification Biologique Des Lacs Jurassiens à l'aide d'une Nouvelle Méthode d'analyse Des Peuplements Benthiques I. Variété et Densité de La Faune ». In : *Annals of Limnology* 29, p. 59-77.
- (1993b). « Classification Biologique Des Lacs Jurassiens à l'aide d'une Nouvelle Méthode d'analyse Des Peuplements Benthiques II. Nature de La Faune ». In : *Annals of Limnology* 29, p. 383-393.
- VERNEAUX, J. et al. (1991). « Particules Organiques et Rapport C/N Des Sédiments Des Lacs Du Jura ». In : *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 27.02, p. 175-190. DOI : 10.1051/limn/1991014.
- VERNEAUX, Jean (1980). « Fondements Biologiques et Écologiques de l'étude de La Qualité Des Eaux Continentales. Principes et Méthodes ». In : *La Pollution Des Eaux Continentales*. Gauthiers-Villards, p. 289-345.
- VERNEAUX, Valérie et Lotfi ALEYA (mai 1998). « Bathymetric Distributions of Chironomid Communities in Ten French Lakes : Implications on Lake Classification ». In : *Archiv für Hydrobiologie* 142.2, p. 209-228.
- VERNEAUX, Valérie et al. (juin 2004a). « Relationships of Macrobenthos with Dissolved Oxygen and Organic Matter at the Sediment-Water Interface in Ten French Lakes ». In : *Archiv für Hydrobiologie* 160.2, p. 247-259. ISSN : 00039136. DOI : 10.1127/0003-9136/2004/0160-0247.
- VERNEAUX, Valérie et al. (2004b). « 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 ». In : *Annales de Limnologie* 40, p. 1-9.
- VIDONNE, A. et al. (1988). « Utilisation d'un « indice de Réflexion » Pour l'analyse Rapide Des Sédiments Lacustres ». In : *Revue des Sciences de l'Eau* 1.3, p. 239-251.

- VIELLET, Amandine (2007). « Temps, Espace, Environnement : Étude Dendrochronologique Des Villages Littoraux de Chalain et de Clairvaux (Jura, France) Du 39e Au 26e Siècle Av. JC ». Thèse de doct. Besançon.
- VIRIEUX, J. (1916). *Annales de biologie lacustre. Recherches sur le plancton des lacs du Jura central.* français. T. Tome VIII (1914-1915). Extrait des "Annales de Biologie lacustre". Bruxelles, Belgique : Breuer.
- WALL, Adeline AJ (2008). « Réponse Des Systèmes Lacustres Aux Changements Du Climat et Aux Impacts Anthropiques à Partir de l'analyse Des Communautés Microbiennes (Thécamoebiens) Des Sédiments. » In : *Prix A'Doc de la jeune recherche en Franche-Comté 2008*, p. 31-49.
- WASSON, J. G. (1984). « L'utilisation des peuplements larvaires de Chironomidae (Diptera) pour la diagnose écologique des lacs : essai d'application aux deux lacs de Clairvaux (Jura, France) ». fr. In : *Revue française des sciences de l'eau* 3.4, p. 395-408. ISSN : 0750-7186.
- WICKHAM, Hadley (2009). *Ggplot2 : Elegant Graphics for Data Analysis.* Springer New York. ISBN : 978-0-387-98140-6.
- (2017). *Tidyverse : Easily Install and Load 'Tidyverse' Packages.*
- (2018a). *Scales : Scale Functions for Visualization.*
- (2018b). *Stringr : Simple, Consistent Wrappers for Common String Operations.*
- WICKHAM, Hadley et Jennifer BRYAN (2018). *Readxl : Read Excel Files.*
- WICKHAM, Hadley et Lionel HENRY (2017). *Tidyr : Easily Tidy Data with Spread () and Gather () Functions.*
- WICKHAM, Hadley et Edgar RUIZ (2018). *Dbplyr : A 'dplyr' Back End for Databases.*
- WICKHAM, Hadley et al. (2007). « Reshaping Data with the Reshape Package ». In : *Journal of Statistical Software* 21.12, p. 1-20.
- (2011). « The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis ». In : *Journal of Statistical Software* 40.1, p. 1-29.
- WICKHAM, Hadley et al. (2017). *Dplyr : A Grammar of Data Manipulation.*
- WILKE, Claus O. (2018). *Cowplot : Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'Ggplot2'.*
- XIE, Yihui (2017). *Knitr : A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R.*

TABLE .0.1 – Récapitulatif des effectifs capturés dans le lac (en nombre d'individus)

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
ABL	1	1	13	6	1	22
BRE	4	1			5	10
BRO	3	2	2	5	1	13
CHE	1		4	5		10
CMI				1		1
COR	22	28			25	75
GAR	300	4	3	58	30	395
GRE	42			19	8	69
PCL	3			3		6
PER	370	1	157	163	27	718
ROT	105	17		107	40	269
Total	851	54	179	367	137	1588

TABLE .0.2 – Récapitulatif des biomasses capturées dans le lac (en kg)

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
ABL	0.01	0.03	0.08	0.10	0.01	0.23
BRE	3.64	0.41			4.85	8.91
BRO	1.34	5.19	0.57	5.72	0.58	13.40
CHE	0.58		0.01	3.41		4.00
CMI				10.50		10.50
COR	4.41	4.16			4.66	13.22
GAR	6.66	0.39	0.00	1.43	0.97	9.45
GRE	0.30			0.16	0.06	0.51
PCL	0.23			0.35		0.58
PER	15.03	0.01	0.59	4.77	3.52	23.91
ROT	3.84	0.29		5.89	0.92	10.93
Total	36.03	10.47	1.25	32.33	15.57	95.65

.1 Paramètres statistiques calculés

.2 Niveau du Grand lac de Clairvaux



Service Hydraulique, Forestier,
Foncier et de l'Environnement

Dossier suivi par Melle LUTHI
N/réf. : AL/FB

Poste : 40.97

Lons-le-Saunier, le 27 juin 2001

- **Objet : Motorisation de la vanne du pont de la Raillette –**
- **Relevé de décisions**

Etaient présents :

- M. CLAUDEY, Maire de CLAIRVAUX-les-LACS
- M. MAAZOUZ, Président de la Fédération départementale des A.A.P.P.M.A.
- M. Serge DAVID, Président de l'A.A.P.P.M.A. les Pêcheurs clairvaliens
- M. SASSARD, Technicien de la Communauté de communes
- M. BAILLY, Responsable des services techniques de CLAIRVAUX-les-LACS
- M. VILQUIN, Garde-pêche du C.S.P.
- Melle LUTHI, Ingénieur des travaux ruraux, chargée de la police de l'eau – DDAF du Jura

La motorisation des vannes asservie au niveau du lac permettant une meilleure gestion d'une part du niveau du plan d'eau, d'autre part, du débit réservé de la RAILLETTE, il est décidé de procéder à la réalisation de ces travaux dans les conditions suivantes :

1. Le réglage du système sera effectué de manière à ce que le niveau du plan d'eau ne subisse pas de trop grandes variations
2. Le niveau "été" (21 juin à 30 septembre) est estimé à partir du départ béton de la jetée, au coin : 48 cm hors d'eau. Le niveau "hiver" est situé à 18 cm hors d'eau, sur ce même repère
3. Il sera mis en place au droit du pont une réglette permettant de lire le niveau du plan d'eau
4. la gestion des vannes permettra le respect d'un débit réservé dans la RAILLETTE
5. Une étude confirmant les cotes de niveau hiver/été, le réglage de la vanne, ainsi que la valeur du débit réservé sera réalisée afin que les dispositions définitives figurent dans un arrêté préfectoral
6. Il est conseillé au propriétaire des équipements de clôturer l'accès au site de manière à protéger le matériel, d'une part, et à sécuriser les lieux, d'autre part.

Agnès LUTHI

DDAF du Jura 2, avenue du 44^e R.I. BP 396 39016 Lons le Saunier Cedex
tel : 03 84 43 40 00 fax : 03 84 43 40 40

C:\Mes Documents\lettres\LETTRE.A. L. PART .doc

FIGURE .2.1 – Relevé de décision de la DDAF concernant la motorisation de la vanne du pont de la Raillette - 27 juin 2001

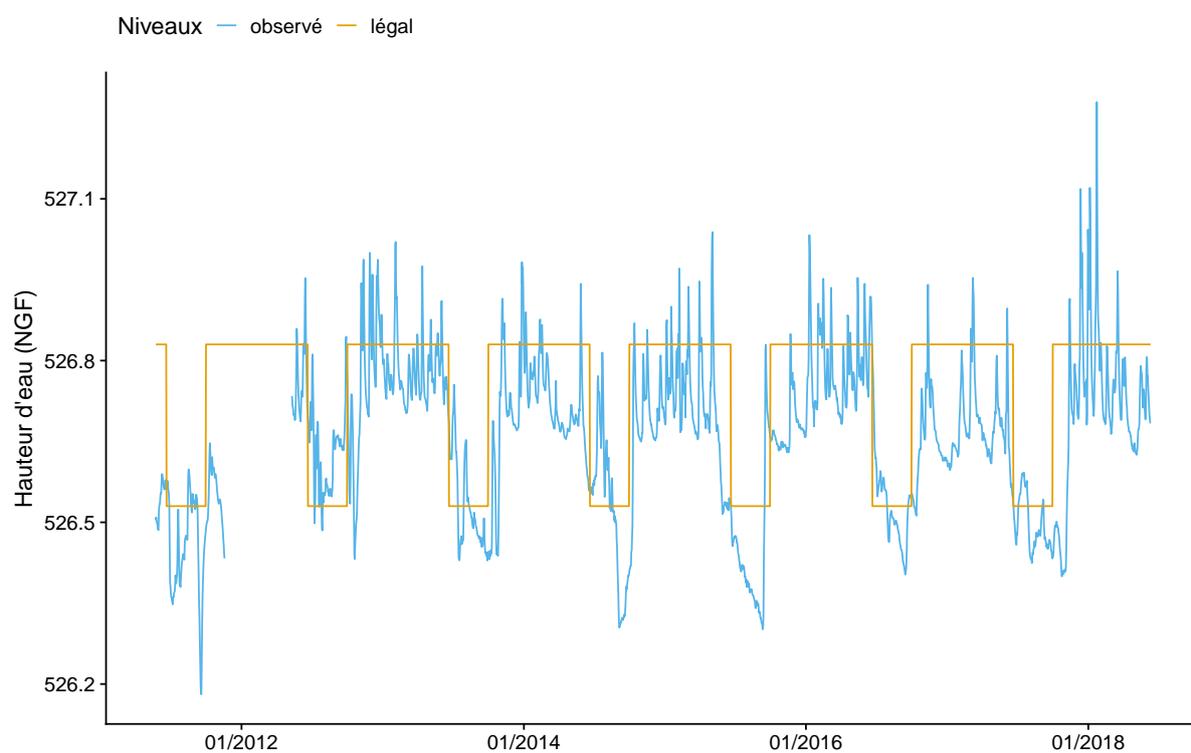


FIGURE .2.2 – Chronique des mesures de hauteur d'eau du Grand lac de Clairvaux - Vue chronologique et comparaison avec le niveau légal

.3 Physico-chimie

TABLE .3.1 – Données de prélèvement des sédiments

Station	Date	Heure	X	Y
GER4-5	2016-08-24	10 :00 :00	908790.00	6605924.00
PIL0-1	2016-08-24	12 :15 :00	911530.00	6609266.00
RAI0-5	2016-08-24	11 :20 :00	911795.00	6609559.00
RAI0-8	2016-08-24	11 :50 :00	911492.00	6609373.00
RAI1-1	2016-08-24	12 :35 :00	911192.00	6609479.00
RAI2-2	2016-08-24	09 :15 :00	910878.00	6610241.00
RAI4-0	2016-08-24	14 :10 :00	910402.00	6612056.00
SRA0-3	2016-08-24	10 :40 :00	910248.00	6608973.00

.4 Informations techniques

```
## - Session info -----
## setting value
## version R version 3.5.2 (2018-12-20)
## os      macOS Sierra 10.12.6
## system  x86_64, darwin15.6.0
## ui      X11
## language (EN)
## collate fr_FR.UTF-8
## ctype   fr_FR.UTF-8
## tz      Europe/Paris
## date    2019-02-21
##
## - Packages -----
## package      * version date      lib source
## abind         1.4-5  2016-07-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## aquatools     * 0.0.92 2019-02-21 [1] local
## assertthat    0.2.0  2017-04-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## backports     1.1.3  2018-12-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## bindr         0.1.1  2018-03-13 [1] CRAN (R 3.5.0)
## bindrcpp     * 0.2.2  2018-03-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## bit           1.1-14 2018-05-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## bit64        0.9-7  2017-05-08 [1] CRAN (R 3.5.0)
## bitops       1.0-6  2013-08-17 [1] CRAN (R 3.5.0)
## blob         1.1.1  2018-03-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
## broom        0.5.1  2018-12-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## callr       3.1.1  2018-12-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## car          3.0-2  2018-08-23 [1] CRAN (R 3.5.0)
## carData     3.0-2  2018-09-30 [1] CRAN (R 3.5.0)
## cellranger   1.1.0  2016-07-27 [1] CRAN (R 3.5.0)
## class       7.3-14 2015-08-30 [1] CRAN (R 3.5.2)
## classInt    0.3-1  2018-12-18 [1] CRAN (R 3.5.0)
## cli         1.0.1  2018-09-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
## colorspace  1.3-2  2016-12-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## cowplot     * 0.9.4  2019-01-08 [1] CRAN (R 3.5.1)
## crayon     1.3.4  2017-09-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## curl       3.2    2018-03-28 [1] CRAN (R 3.5.0)
## data.table  1.11.8 2018-09-30 [1] CRAN (R 3.5.0)
## DBI        1.0.0  2018-05-02 [1] CRAN (R 3.5.0)
## dbplyr     * 1.2.2  2018-07-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
## desc       1.2.0  2018-05-01 [1] CRAN (R 3.5.0)
## devtools   2.0.1  2018-10-26 [1] CRAN (R 3.5.1)
## digest     0.6.18 2018-10-10 [1] CRAN (R 3.5.0)
## dplyr      * 0.7.8  2018-11-10 [1] CRAN (R 3.5.0)
## e1071      1.7-0  2018-07-28 [1] CRAN (R 3.5.0)
## evaluate   0.12   2018-10-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
```

```

## forcats      * 0.3.0   2018-02-19 [1] CRAN (R 3.5.0)
## foreign      0.8-71   2018-07-20 [1] CRAN (R 3.5.2)
## fs           1.2.6    2018-08-23 [1] CRAN (R 3.5.0)
## FSA          0.8.22   2018-11-22 [1] CRAN (R 3.5.0)
## generics     0.0.2    2018-11-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## ggmap        * 2.7.904  2019-01-09 [1] Github (dkahle/ggmap@4dfe516)
## ggplot2      * 3.1.0    2018-10-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
## ggrepel      * 0.8.0    2018-05-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
## ggspatial    * 1.0.3    2018-12-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## glue         1.3.0    2018-07-17 [1] CRAN (R 3.5.0)
## gridExtra    * 2.3      2017-09-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
## gtable       0.2.0    2016-02-26 [1] CRAN (R 3.5.0)
## haven        2.0.0    2018-11-22 [1] CRAN (R 3.5.0)
## highr        0.7      2018-06-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
## hms          0.4.2    2018-03-10 [1] CRAN (R 3.5.0)
## httr         1.4.0    2018-12-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## jpeg         0.1-8    2014-01-23 [1] CRAN (R 3.5.0)
## jsonlite     1.6      2018-12-07 [1] CRAN (R 3.5.0)
## keyring      1.1.0    2018-07-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## knitr        * 1.21     2018-12-10 [1] CRAN (R 3.5.1)
## lattice      0.20-38  2018-11-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## lazyeval     0.2.1    2017-10-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## lubridate    * 1.7.4    2018-04-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## magrittr     1.5      2014-11-22 [1] CRAN (R 3.5.0)
## memoise      1.1.0    2017-04-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## modelr       0.1.2    2018-05-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## munsell      0.5.0    2018-06-12 [1] CRAN (R 3.5.0)
## nlme         3.1-137  2018-04-07 [1] CRAN (R 3.5.2)
## openxlsx     4.1.0    2018-05-26 [1] CRAN (R 3.5.0)
## pillar       1.3.1    2018-12-15 [1] CRAN (R 3.5.0)
## pkgbuild     1.0.2    2018-10-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## pkgconfig    2.0.2    2018-08-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## pkgload      1.0.2    2018-10-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## plyr         1.8.4    2016-06-08 [1] CRAN (R 3.5.0)
## png          0.1-7    2013-12-03 [1] CRAN (R 3.5.0)
## prettyunits  1.0.2    2015-07-13 [1] CRAN (R 3.5.0)
## processx     3.2.1    2018-12-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## ps           1.3.0    2018-12-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## purrr        * 0.2.5    2018-05-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## R6           2.3.0    2018-10-04 [1] CRAN (R 3.5.0)
## Rcpp         1.0.0    2018-11-07 [1] CRAN (R 3.5.1)
## RcppRoll     0.3.0    2018-06-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## readr        * 1.3.1    2018-12-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## readxl       * 1.2.0    2018-12-19 [1] CRAN (R 3.5.0)
## remotes      2.0.2    2018-10-30 [1] CRAN (R 3.5.0)
## reshape2    * 1.4.3    2017-12-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rgeoapi      1.1.0    2018-06-13 [1] Github (ColinFay/rgeoapi@d4ff3b4)
## RgoogleMaps  1.4.3    2018-11-07 [1] CRAN (R 3.5.1)

```

```
## rio 0.5.16 2018-11-26 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rJava 0.9-10 2018-05-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rjson 0.2.20 2018-06-08 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rlang 0.3.0.1 2018-10-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
## RPostgreSQL 0.6-2 2017-06-24 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rprojroot 1.3-2 2018-01-03 [1] CRAN (R 3.5.0)
## RSQLite 2.1.1 2018-05-06 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rstudioapi 0.8 2018-10-02 [1] CRAN (R 3.5.0)
## rvest 0.3.2 2016-06-17 [1] CRAN (R 3.5.0)
## scales * 1.0.0 2018-08-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
## sessioninfo 1.1.1 2018-11-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## sf * 0.7-2 2018-12-20 [1] CRAN (R 3.5.0)
## stringi 1.2.4 2018-07-20 [1] CRAN (R 3.5.0)
## stringr * 1.3.1 2018-05-10 [1] CRAN (R 3.5.0)
## testthat 2.0.1 2018-10-13 [1] CRAN (R 3.5.0)
## tibble * 2.0.0 2019-01-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## tidyr * 0.8.2 2018-10-28 [1] CRAN (R 3.5.0)
## tidyselect 0.2.5 2018-10-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## tidyverse * 1.2.1 2017-11-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## units * 0.6-2 2018-12-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## usethis 1.4.0 2018-08-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## withr 2.1.2 2018-03-15 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xfun 0.4 2018-10-23 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xlsx 0.6.1 2018-06-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xlsxjars 0.6.1 2014-08-22 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xml2 1.2.0 2018-01-24 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xtable * 1.8-3 2018-08-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## zip 1.0.0 2017-04-25 [1] CRAN (R 3.5.0)
##
## [1] /Library/Frameworks/R.framework/Versions/3.5/Resources/library
```