



Lacs d'Ilay et du Val (Jura)

Suivi piscicole

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

Version finale
12 mars 2020

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

Agence Régionale de Santé

Linda Nourry
Laëtitia Persello

Bénévoles et élus

Bernard Pichon
Martial Vallet
Les autres bénévoles qui ont pu nous aider à démailler



Les lacs d'Ilay et du Val sont des lacs naturels du département du Jura. L'objectif de ce travail est de mettre à jour les connaissances relatives à la physico-chimie, aux habitats et à la faune piscicole de ces plans d'eau et de leurs afférences, afin d'aboutir à des propositions d'actions et de gestion.

Les différentes opérations de suivi réalisées au cours de l'année 2016 ont permis de mettre en évidence certains éléments :

- une composition du peuplement piscicole suivant celle des précédents échantillonnages, avec une légère tendance à la dégradation pour le lac du Val ;
- une variation assez importante des niveaux des deux lacs, avec une origine vraisemblablement naturelle ;
- une dégradation des habitats du Hérisson en amont et en aval du lac du Val, dommageable pour la biodiversité dans son ensemble et pour la faune piscicole en particulier, mais également pour la capacité de rétention en eau fraîche et de qualité de la zone ;
- la présence de contaminations toxiques dans les sédiments de ces lacs ;
- l'arrivée d'eaux usées non traitées au sein des deux lacs.

Afin de restaurer le fonctionnement écologique de ces ensembles de milieux naturels (lacs, 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 du Hérisson et de ces zones humides associées et la résorption des diverses contaminations pouvant arriver jusqu'aux deux lacs ;
- d'accompagner ces travaux par la mise en œuvre et/ou par la poursuite de mesures d'acquisition de connaissances, 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	6
2.1	Contexte	6
2.2	Objectifs	7
3	Principales observations	8
3.1	Peuplements piscicoles	8
3.1.1	Méthodes d'investigation	8
3.1.2	Évolution historique	12
3.1.3	Répartition	20
3.2	Étude des milieux	26
3.2.1	Cartographie de l'espace lacustre	26
3.2.2	Variations du niveau du lac	30
3.2.3	Physico-chimie des eaux	36
4	États des lieux	40
5	Propositions d'action	42
5.1	Aménagement	42
5.2	Usages sur le bassin versant	43
5.3	Suivi	43
5.4	Connaissance	43
5.5	Synthèse	45
6	Conclusion	46
7	Bibliographie	47
8	Annexes	54
.1	Informations techniques	56

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 les lacs d'Ilay et du Val.

2.2 Objectifs

Le présent projet d'étude se fixe les objectifs :

- de réaliser un diagnostic de l'état de conservation des peuplements piscicoles des lacs d'Ilay et du Val ;
- de synthétiser et d'interpréter les données disponibles permettant de comprendre la composition des peuplements ;
- 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 (grâce aux données du suivi DCE,
 - d'évaluer l'évolution quantitative de la ressource en eau.
- 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 2019) à travers RStudio (RSTUDIO TEAM 2019), couplés à différents packages (WILKE 2019; GROLEMUND et WICKHAM 2011; KAHLE et WICKHAM 2013; WICKHAM 2007; WICKHAM 2011; WICKHAM 2009; WICKHAM et al. 2019; SLOWIKOWSKI 2019; AUGUIE 2017; XIE 2019; WICKHAM et BRYAN 2019; BIVAND, KEITT et ROWLINGSON 2017; WICKHAM 2018a; WICKHAM et HENRY 2019; DAHL 2019; WICKHAM 2017; WICKHAM et RUIZ 2019; DUNNINGTON et RUIZ 2018; PEBESMA 2018; WICKHAM 2018b; PEBESMA, MAILUND et HIEBERT 2016). QGIS, PostgreSQL et PostGIS ont également été utilisés (QGIS DEVELOPMENT TEAM 2019; 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) ».

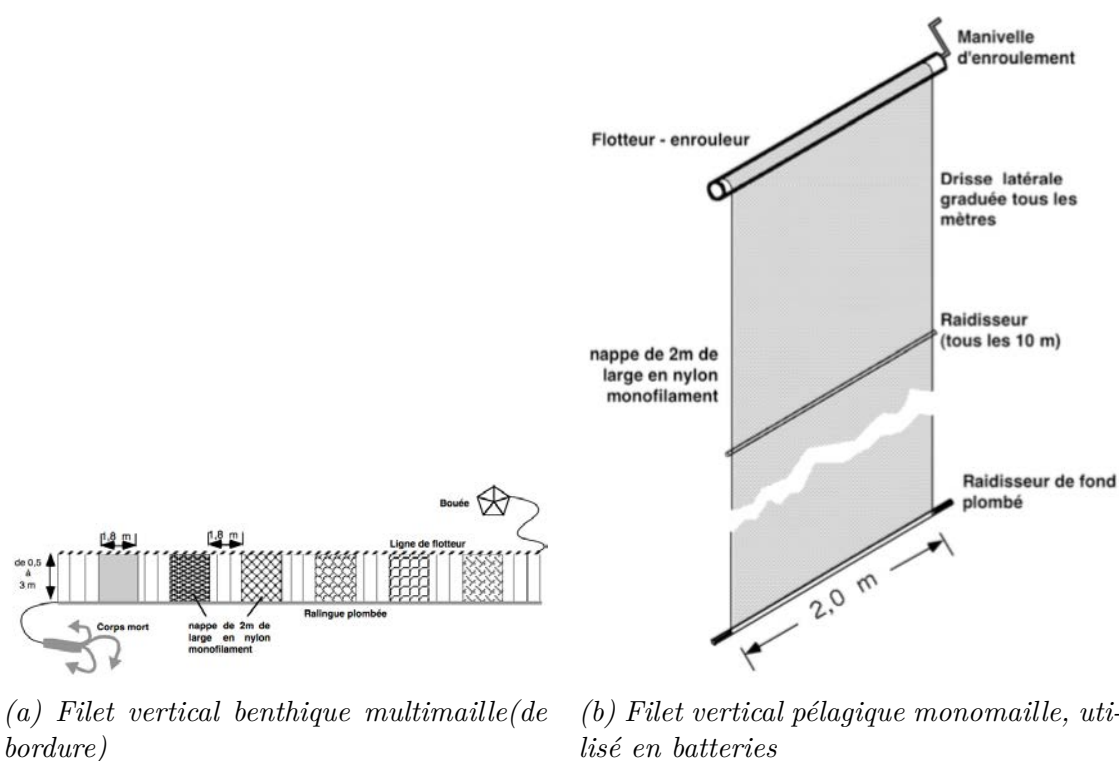


FIGURE 3.1 – Vue des types de filets utilisés

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, de Clairvaux (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).

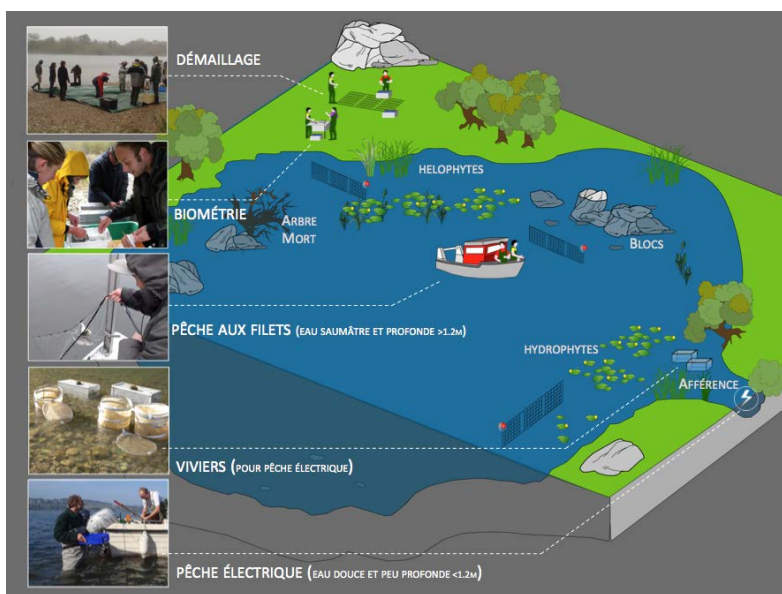


FIGURE 3.2 – Organisation des différents ateliers de travail des pêches lacustres

Les répartitions des actions de pêche de 2016 pour chaque lac (poses de filets, pêches à l'électricité des habitats de bordure inventaires dans les affluents) sont visibles sur la figure 3.3. Les résultats récoltés par l'AFB et par la FJPPMA sont analysés globalement.

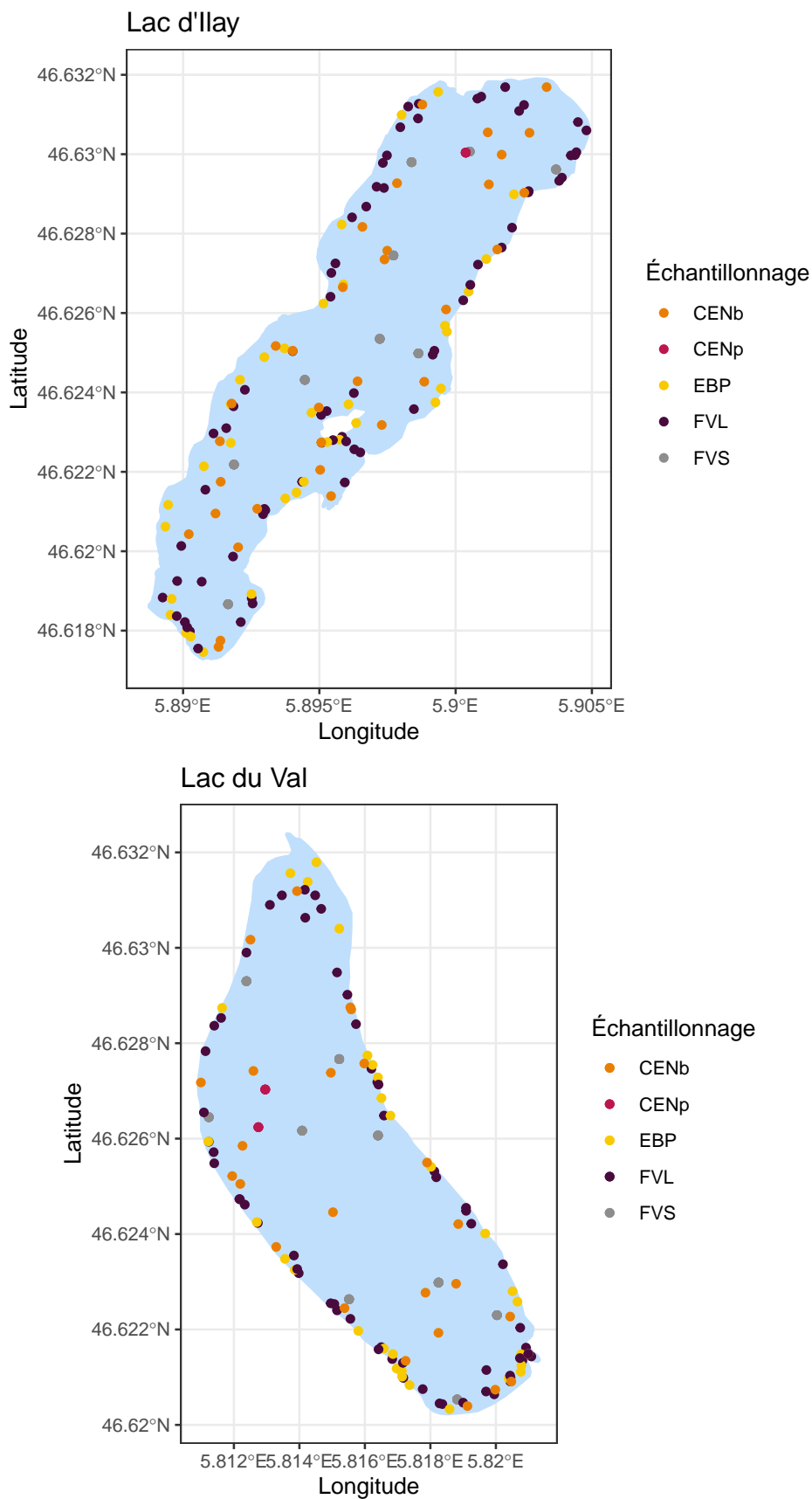


FIGURE 3.3 – Positions des échantillonnages réalisés en 2016 sur les lac d'Ilay et du Val

3.1.2 Évolution historique

Les différentes données disponibles concernant le lac d'Ilay 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 1985 (MASSON 1986),
- d'un échantillonnage réalisé par l'Université de Franche-Comté en 1989, cité par RAYMOND 2005,
- 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 2016 dans le cadre de cette étude.

TABLE 3.1 – Type, nombre (n) et surface (S) de filets posés sur le lac d'Ilay

Type de filets	1985		1989		2002-03		2009		2016				
	S	n	S	n	S	n	S	n	S	FV	CEN	n	FV
Benthique	1485		2400		3066		1440	32	1440	2310	32	73	
Pélagique	3840		4116		6202		1650	10	1650	2282	10	63	

L'effort de pêche déployé en 2016 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) des espèces piscicoles observées au cours des différentes campagnes d'échantillonnage sur le lac d'Ilay

Famille	Espèce	Nom latin	Code	Statut	1985	1989	2003	2009	2016
Cyprinidae	Carpe commune	Cyprinus carpio	CCO	LC	✓				
	Chevesne	Leuciscus cephalus	CHE	LC	✓		✓		✓
	Gardon	Rutilus rutilus	GAR	LC	✓	✓	✓	✓	✓
	Rotengle	Scardinius erythrophthalmus	ROT	LC	✓	✓	✓	✓	✓
	Tanche	Tinca tinca	TAN	LC	✓	✓	✓	✓	✓
Esocidae	Brochet	Esox lucius	BRO	VU	✓	✓	✓	✓	✓
Percidae	Perche	Perca fluviatilis	PER	LC	✓	✓	✓	✓	✓
Salmonidae	Corégone	Coregonus lavaretus	COR		✓	✓	✓	✓	✓
Total					8	6	7	6	7

On observe dans le tableau 3.2 que 1 espèce de plus a été observée entre 2016 et 2009 avec l'apparition du chevesne. Cette espèce est toutefois sporadiquement capturée depuis 1985, et doit donc probablement faire partie intégrante du peuplement piscicole. Il est à noter la capture d'écrevisses des espèces *Orconectes limosus* en 2016.

La chronique disponible des empoissonnements (voir tableau 3.3) fait état d'apports en corégones (COR), perches (PER), gardons (GAR) et brochets (BRO) dans la période récente.

TABLE 3.3 – *Empoisonnements réalisés à partir de 1999 dans le lac d'Ilay*

Date	Code	Espèce	Stade	Poids	Nombre
2012-12-16	COR	Corégone	2		80000
2011-12-20	PER	Perche	5	22	
2011-12-20	GAR	Gardon	5	8	
2011-08-12	COR	Corégone	2		40000
2011-02-25	BRO	Brochet	3	16	48
2010-10-21	COR	Corégone	2		20000
2009-10-07	COR	Corégone	2		30000
2008-12-06	COR	Corégone	2		30000
2008-07-19	BRO	Brochet	3	6	24
2008-07-19	BRO	Brochet	3	43	172
2008-07-13	BRO	Brochet	3	51	204
2007-09-18	BRO	Brochet	3	38	152
2007-06-03	COR	Corégone	2		20000
2006-11-27	BRO	Brochet	3	50	150
2006-10-17	BRO	Brochet	3	60	240
2006-08-18	BRO	Brochet	3	30	120
2006-06-03	COR	Corégone	2		20000
2006-05-24	BRO	Brochet	4	23	
2005-10-11	COR	Corégone	2		20000
2005-10-01	BRO	Brochet	3	88	616
2005-10-01	GAR	Gardon	5	45	
2005-01-06	GAR	Gardon	5	44	
2004-12-16	COR	Corégone	2		20000
2003-08-12	BRO	Brochet	3	50	200
2003-04-24	COR	Corégone	2		16500
2003-04-14	BRO	Brochet	3	75	300
2003-04-14	GAR	Gardon	5	50	
2003-03-05	BRO	Brochet	4	150	
2002-12-16	BRO	Brochet	5	139	
2002-08-18	COR	Corégone	2		16500
2001-04-14	BRO	Brochet	4	8	
2001-04-04	COR	Corégone	2		21000
2000-12-16	COR	Corégone	2		13000
2000-05-14	PER	Perche	5	25	
2000-05-14	BRO	Brochet	4	58	
1999-01-20	BRO	Brochet	4	67	
1999-01-20	GAR	Gardon	4	34	

Les résultats bruts sont visibles en annexes .0.1 et .0.2. 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 PER, le GAR et le rotengle (ROT). La PER était remplacé par le COR lors des campagnes de 2009, 2003 et 1982. La répartition en biomasse est largement dominée par le ROT, puis la PER, le GAR et le COR, ce qui est concordant avec les résultats antérieurs.

Ces résultats sont moyens par rapport à d'autres lacs du département qui ont pu être échantillonnés avec les mêmes protocoles :

- quantités inférieures sur les lacs de Bonlieu et du Grand lac de Clairvaux,
- quantités semblables sur le lac des Rousses,
- quantités supérieures sur le lac de Chalain.

TABLE 3.4 – Répartition pour le lac d'Ilay 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.
BRO	5	-	10	3	-
CHE	1	-	-	0	-
COR	10	53	-	-	45
GAR	176	8	44	35	7
OCL	4	-	-	3	-
PER	480	-	39	30	3
ROT	76	16	28	114	14
TAN	3	-	-	2	0
Total	755	78	122	187	70

TABLE 3.5 – Répartition pour le lac d'Ilay 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.
BRO	4.01	-	1.51	1.12	-
CHE	0.13	-	-	0.78	-
COR	1.70	8.31	-	-	6.89
GAR	7.07	0.14	0.12	1.73	0.35
OCL	0.06	-	-	0.06	-
PER	10.97	-	0.16	1.35	0.14
ROT	10.24	0.50	0.29	19.76	0.86
TAN	5.77	-	-	2.35	0.42
Total	39.95	8.95	2.08	27.15	8.66

La population de COR est représentée de manière hétérogène. La mise en rapport des âges obtenus par scalimétrie en 2015 à partir d'individus échantillonnés en 2013 sur le lac d'Ilay (SCHLUNKE, VONLANTHEN et PÉRIAT 2015) permet d'observer différentes classes de taille :

- des juvéniles d'un an (< 200 mm),
- des adultes de 3 ans et plus, de différents âges (> 275 mm - cohorte continue).

La cohorte des individus de deux ans est inexistante dans l'échantillonnage réalisé (voir figure 3.4). On peut donc conclure d'un maintien de l'espèce sans alevinages (absence d'apports en individus de l'espèce depuis plusieurs années), mais dans une situation où le recrutement naturel peut être irrégulier. La même conclusion était tirée par SCHLUNKE, VONLANTHEN et PÉRIAT 2015.

La PER présente une structure de population légèrement déséquilibrée, avec un déficit d'individus adultes. Le même constat était réalisé en 2009 (ONEMA 2011). Bien que l'effectif de BRO capturés soit assez faible, différentes tailles sont représentées, de 150 à 700 mm. Aucun individu de l'année ou de grande taille n'a été capturé.

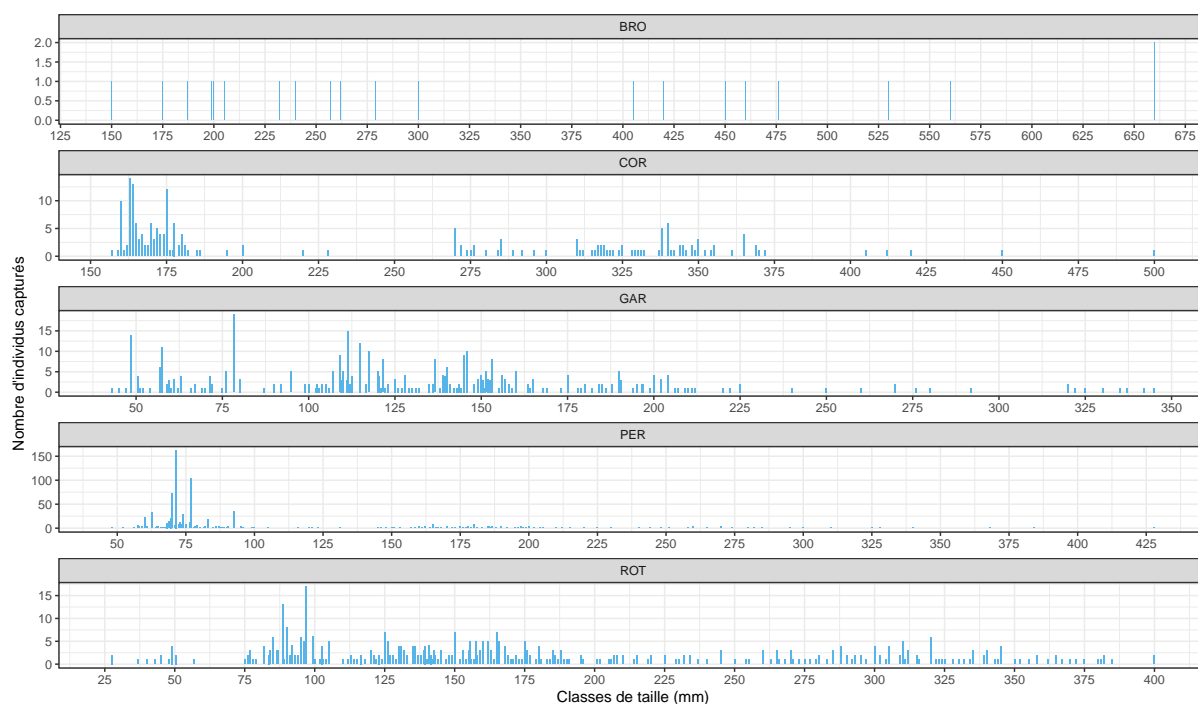


FIGURE 3.4 – Répartition taille/fréquence des captures sur le lac d'Ilay pour les principales espèces capturées

Il apparaît ainsi que l'ichtyofaune du lac d'Ilay a peu évolué dans sa structure relative depuis 2009, tout en restant en-deça des potentialités du lac. Les populations de PER, COR et BRO présentent des difficultés, avec soit des populations en relative difficulté, soit des rendements de capture modestes.

Concernant le lac du Val, les échantillonnages suivants ont été réalisés :

- le suivi réalisé par l'ONEMA en 2010 (ANONYME 2011),
- la campagne d'échantillonnage piscicole réalisée en 2016 dans le cadre de cette étude.

TABLE 3.6 – Type, nombre (n) et surface (S) de filets posés sur le lac du Val

Type de filets	2010		2016			
	S CEN	n CEN	S CEN	FV	n CEN	FV
Benthique	1530	34	1080	1840	24	59
Pélagique	1320	8	1320	2072	8	63

L'effort de pêche déployé en 2016 est important dans sa globalité, avec un effort de pêche proche de celui de 2010 pour le protocole CEN et légèrement supérieur pour les filets verticaux (tableau 3.6).

TABLE 3.7 – Liste, statut de protection (CSRPN, 2014) des espèces piscicoles observées au cours des différentes campagnes d'échantillonnage sur le lac du Val

Famille	Espèce	Nom latin	Code	Statut	2010	2016
Centrarchidae	Perche soleil	Lepomis gibbosus	PES		✓	✓
Cyprinidae	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	Perche	Perca fluviatilis	PER	LC	✓	✓
	Sandre	Stizostedion lucioperca	SAN			✓
Salmonidae	Corégone	Coregonus lavaretus	COR		✓	✓
Total			10		9	9

On observe dans le tableau 3.7 que le même nombre d'espèces a été observé entre 2016 et 2010, avec toutefois l'apparition du sandre (SAN) (1 individu) et la disparition de la vandoise (VAN). Il est à noter la capture d'écrevisses de l'espèce *Pacifastacus leniusculus* en 2016.

La liste des empoissonnements (voir tableau 3.8) permet de comprendre l'observation de SAN en 2016 suite à deux épisodes d'introduction en 2011 à des fins halieutiques. L'espèce principalement apportée est le BRO dans la période récente.

TABLE 3.8 – *Empoisonnements réalisés à partir de 1999 dans le lac du Val*

Date	Code	Espèce	Stade	Poids	Nombre
2011-12-16	SAN	Sandre	5	28	
2011-09-02	SAN	Sandre	5	80	
2010-06-19	BRO	Brochet	3	20	80
2010-06-19	BRO	Brochet	5	24	
2008-07-19	BRO	Brochet	3	100	400
2007-09-18	BRO	Brochet	3	110	440
2007-08-18	BRO	Brochet	5	100	
2007-02-15	GAR	Gardon	5	80	
2005-07-23	BRO	Brochet	5	100	
2005-04-24	GAR	Gardon	5	100	
2005-04-14	BRO	Brochet	3	100	400
2005-01-06	GAR	Gardon	5	80	
2003-12-26	GAR	Gardon	5	100	
2003-03-05	BRO	Brochet	4	100	
2003-02-15	BRO	Brochet	3	100	800
2002-12-16	BRO	Brochet	5	103	
2000-07-09	TRF	Truite fario	2		2800
2000-05-14	PER	Perche	5	18	
1999-10-07	TRF	Truite fario	2		2900
1999-01-20	BRO	Brochet	5	45	
1999-01-20	GAR	Gardon	4	68	
1999-01-20	PER	Perche	4	18	

Les résultats bruts sont visibles en annexes .0.3 et .0.4. Les CPUE calculées à partir des captures sont visibles dans les tableaux 3.9 et 3.10. Les captures en nombre sont dominées par le GAR, la PER et le ROT. La PER remplaçait le GAR lors de la campagne de 2010. La répartition en biomasse est largement dominée par le COR, le GAR et le ROT, ce qui est semblable aux résultats antérieurs. La forte biomasse de chevesnes (CHE) s'explique par la présence d'une quinzaine d'individus de taille conséquente.

Ces biomasses sont assez bonnes par rapport à d'autres lacs du département qui ont pu être échantillonnés avec les mêmes protocoles. Les densités numériques sont pour leur part dans la moyenne inférieure.

TABLE 3.9 – Répartition pour le lac du Val 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.
BRO	2	-	21	4	-
CHE	-	-	26	5	-
COR	1	11	-	-	23
GAR	113	26	35	91	13
PER	79	4	59	54	18
PES	-	-	61	-	-
PFL	77	-	7	25	-
ROT	25	-	31	85	10
SAN	-	-	-	1	-
TAN	-	-	2	2	-
Total	296	41	243	266	64

TABLE 3.10 – Répartition pour le lac du Val 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.
BRO	0.61	-	1.95	6.08	-
CHE	-	-	31.40	5.28	1.04
COR	0.73	6.01	-	-	18.22
GAR	8.18	0.82	0.02	8.40	0.75
PER	3.40	0.49	0.32	1.83	1.63
PES	-	-	1.27	-	-
PFL	3.14	-	0.10	0.93	-
ROT	2.46	-	0.32	9.95	1.85
SAN	-	-	-	2.32	-
TAN	-	-	0.31	2.71	-
Total	18.52	7.32	35.69	37.50	23.49

La population de COR est représentée de manière hétérogène (voir figure 3.5). On remarque ainsi de faibles abondances et juvéniles et de jeunes adultes, avec par contre de plus importantes densités d'individus dont la taille est supérieure à 400 mm. Le non-alevinage de l'espèce au cours des deux dernières décennies et l'observation régulière de sa reproduction dans le Hérisson en amont et en aval du lac indique néanmoins un succès reproductif au moins partiel, sans pouvoir en dire plus avec les éléments ici collectés. Une étude scalimétrique semblable à celles réalisées sur les lacs d'Ilay (SCHLUNKE, VONLANTHEN et PÉRIAT 2015) et de Chalain (SCHLUNKE et VONLANTHEN 2014) permettrait, parallèlement à une étude de la ressource trophique, d'expliquer cette lacune au sein des cohortes.

La PER présente une structure de population globalement équilibrée, avec toutefois une absence au sein de l'échantillon d'individus adultes de taille importante (> 400 mm). Le même constat était réalisé en 2010 (ONEMA 2011). La population de BRO capturée présente une répartition de taille intéressante, avec notamment l'observation par la pêche à l'électricité d'effectifs notables de juvéniles dans les habitats de bordure.

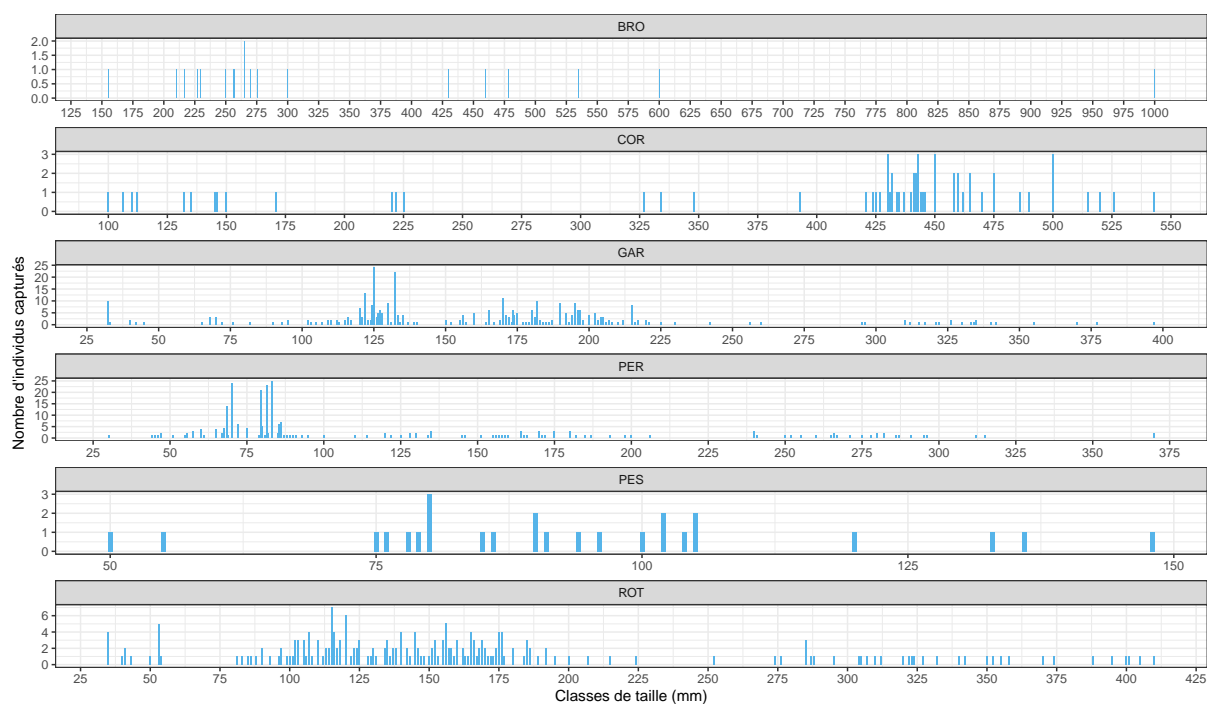


FIGURE 3.5 – Répartition taille/fréquence des captures sur le lac du Val pour les principales espèces capturées

Il apparaît ainsi que l'ichtyofaune du lac du Val a peu évolué dans sa structure relative depuis 2010

3.1.3 Répartition

La répartition verticale de l'effort d'échantillonnage et des CPUE est visible sur le figure 3.6 pour le lac d'Ilay. On remarque une répartition régulière des captures tout au long du gradient de profondeur.

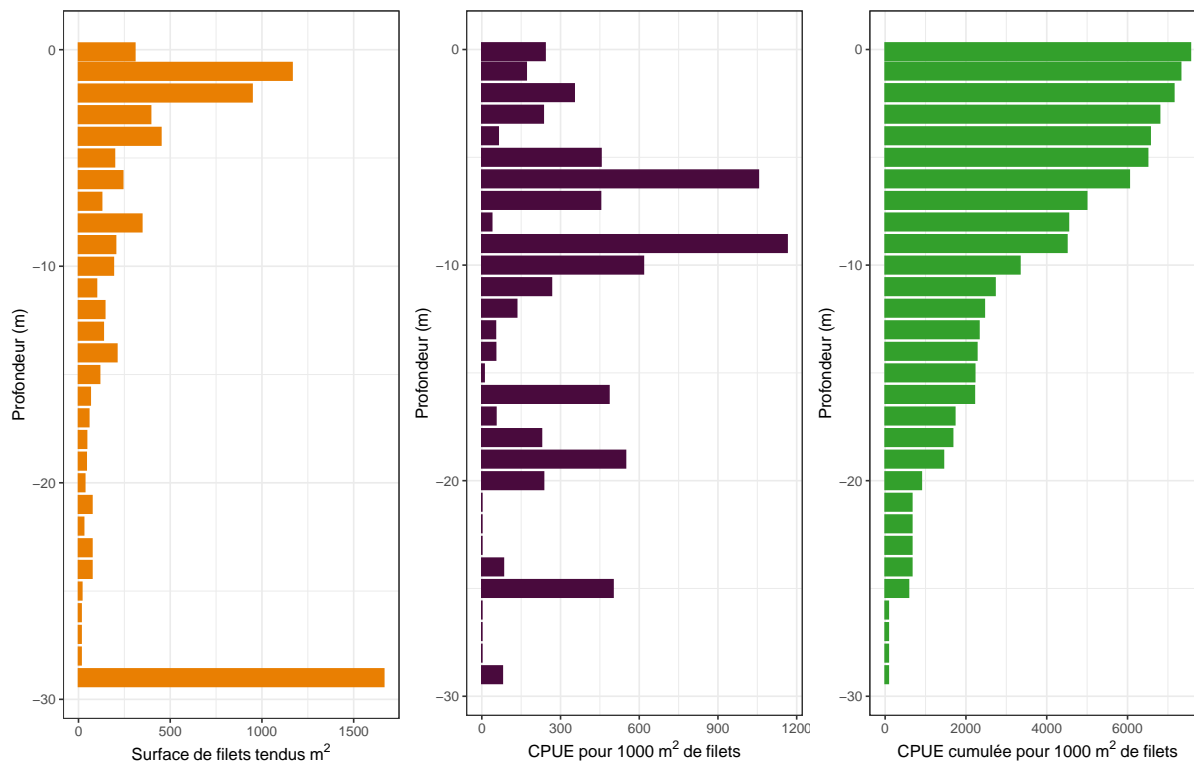


FIGURE 3.6 – Effort d'échantillonnage et CPUE en fonction de la profondeur pour le lac d'Ilay

L'analyse plus fine de la répartition verticale des CPUE par espèce est visible sur la figure 3.7 pour le lac d'Ilay. On peut noter que c'est au sein de la moitié la plus profonde du plan d'eau que la plupart des COR ont été capturés. À l'inverse, la très grande majorité des perches et gardons échantillonnés l'ont été en zone de bordure (0 à 8 mètres de profondeur).

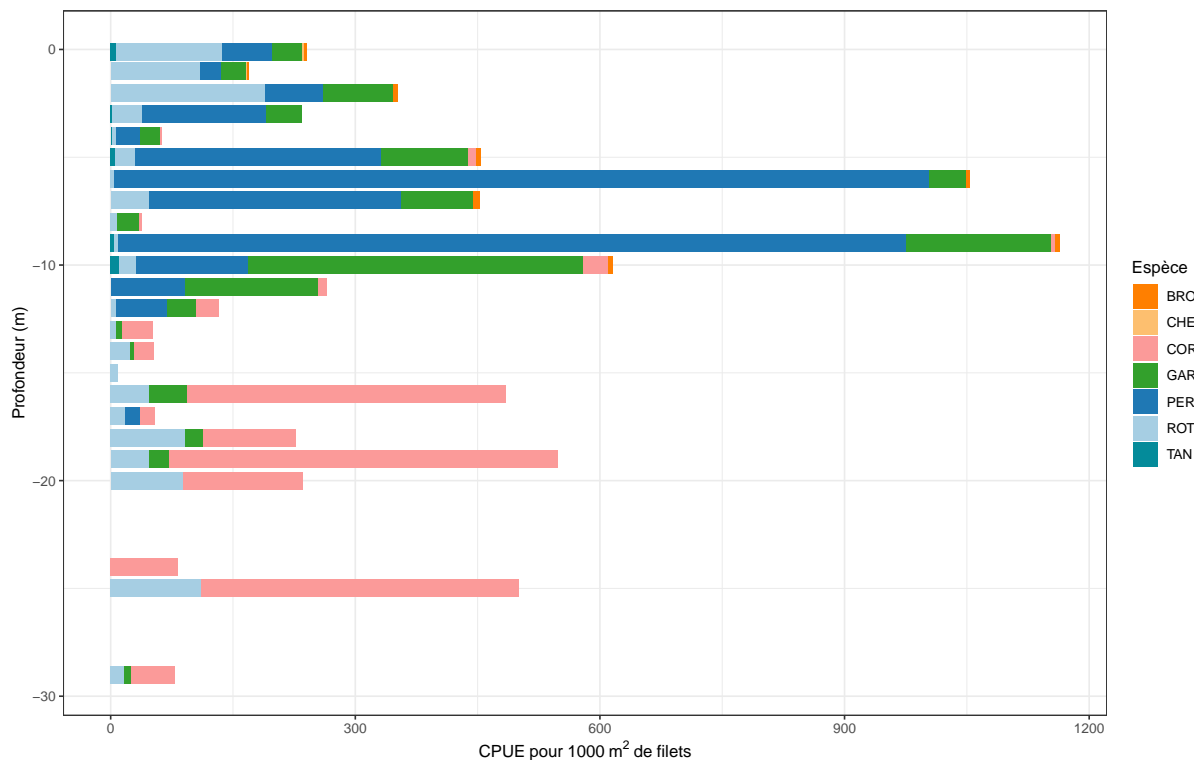


FIGURE 3.7 – CPUE par espèce en fonction de la profondeur pour le lac d'Ilay

La répartition des captures en fonction des habitats (voir figure 3.8) fait état de situations contrastées :

- les BRAnchages (BRA), les et les HYdrophytes Flottants (HYF) sont les habitats ayant engendrés des CPUE et une diversité conséquente lors de l'échantillonnage à l'électricité au niveau des zones de bordure ;
- les HYF et les héliophytes de manière générale affichent des CPUE supérieures lors des prospections aux filets, sans toutefois qu'on puisse remarquer d'habitats particulièrement peu biogènes.

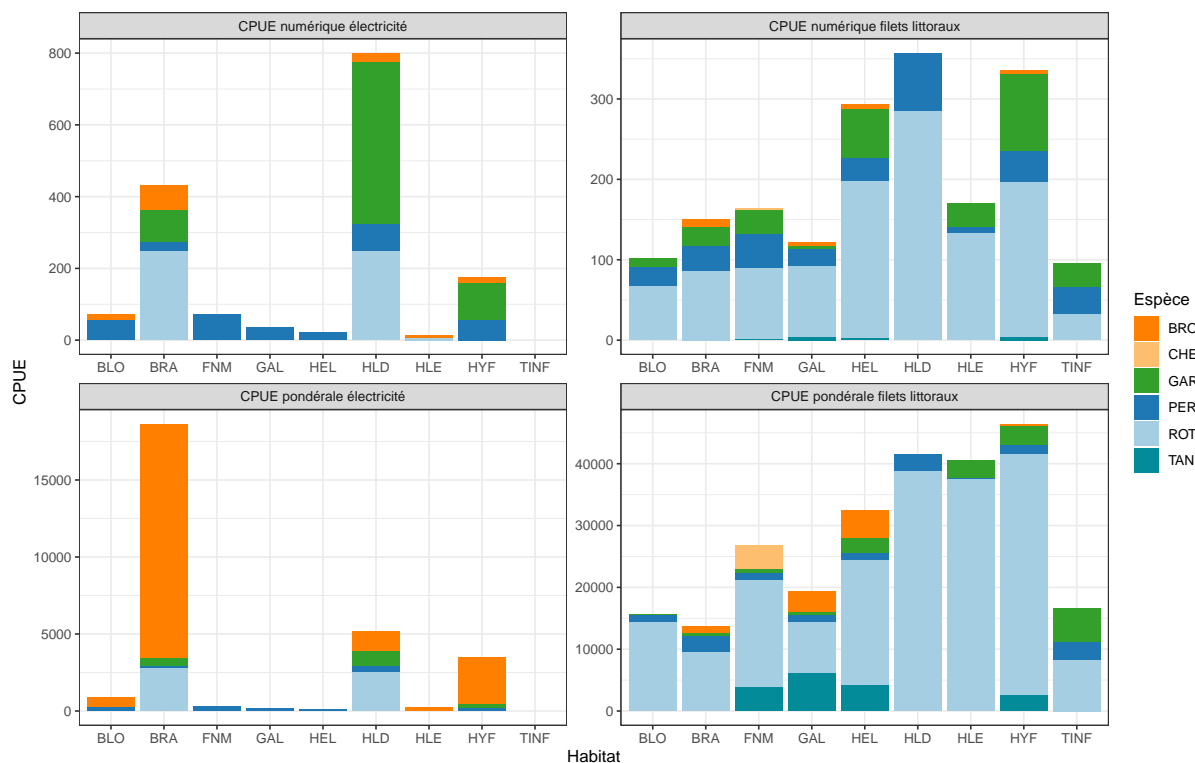


FIGURE 3.8 – CPUE par espèce et par mode de pêche en fonction des différents habitats littoraux pour le lac d'Ilay

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).

La répartition verticale de l'effort d'échantillonnage et des CPUE est visible sur le figure 3.9 pour le lac du Val. On remarque une répartition régulière des captures tout au long du gradient de profondeur.

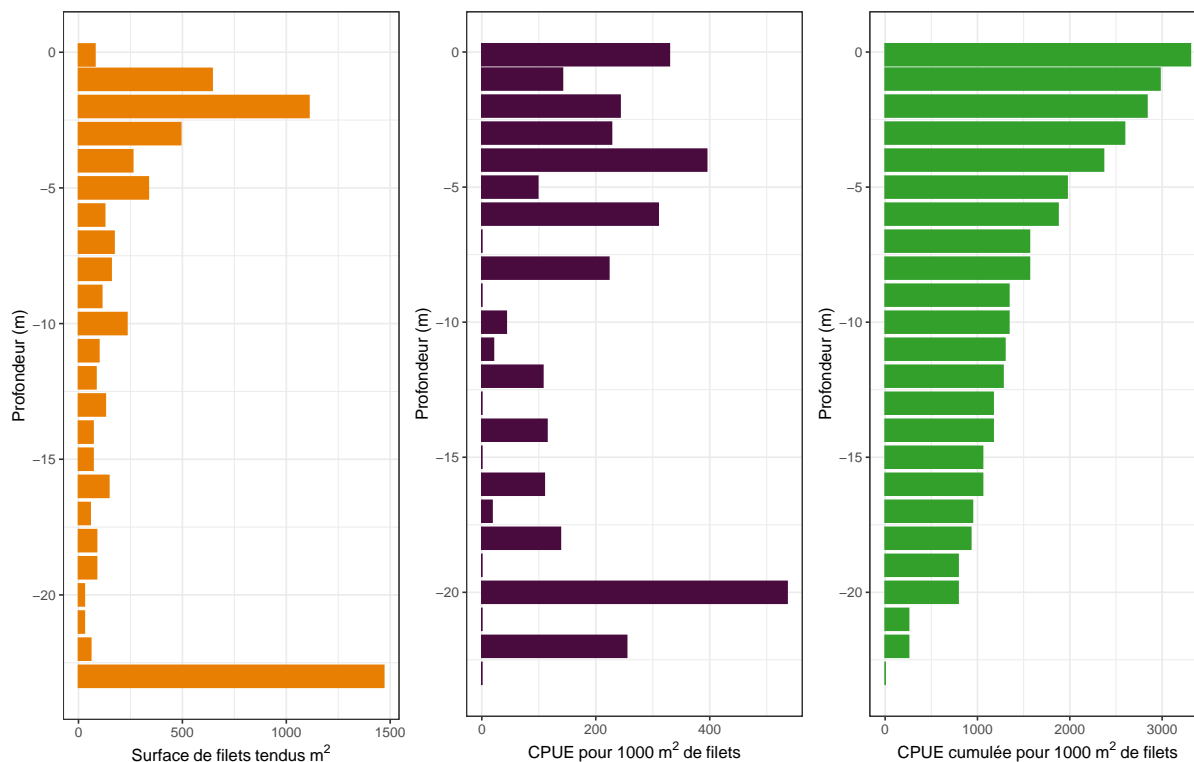


FIGURE 3.9 – Effort d'échantillonnage et CPUE en fonction de la profondeur pour le lac du Val

L'analyse plus fine de la répartition verticale des CPUE par espèce est visible sur la figure 3.10 pour le lac du Val. On peut noter que c'est au sein de la moitié la plus profonde du plan d'eau que l'ensemble des COR ont été capturés. À l'inverse, la très grande majorité des perches et gardons échantillonnés l'ont été en zone de bordure (0 à 8 mètres de profondeur). Ces constats sont très proches de ceux observés sur le lac d'Ilay.

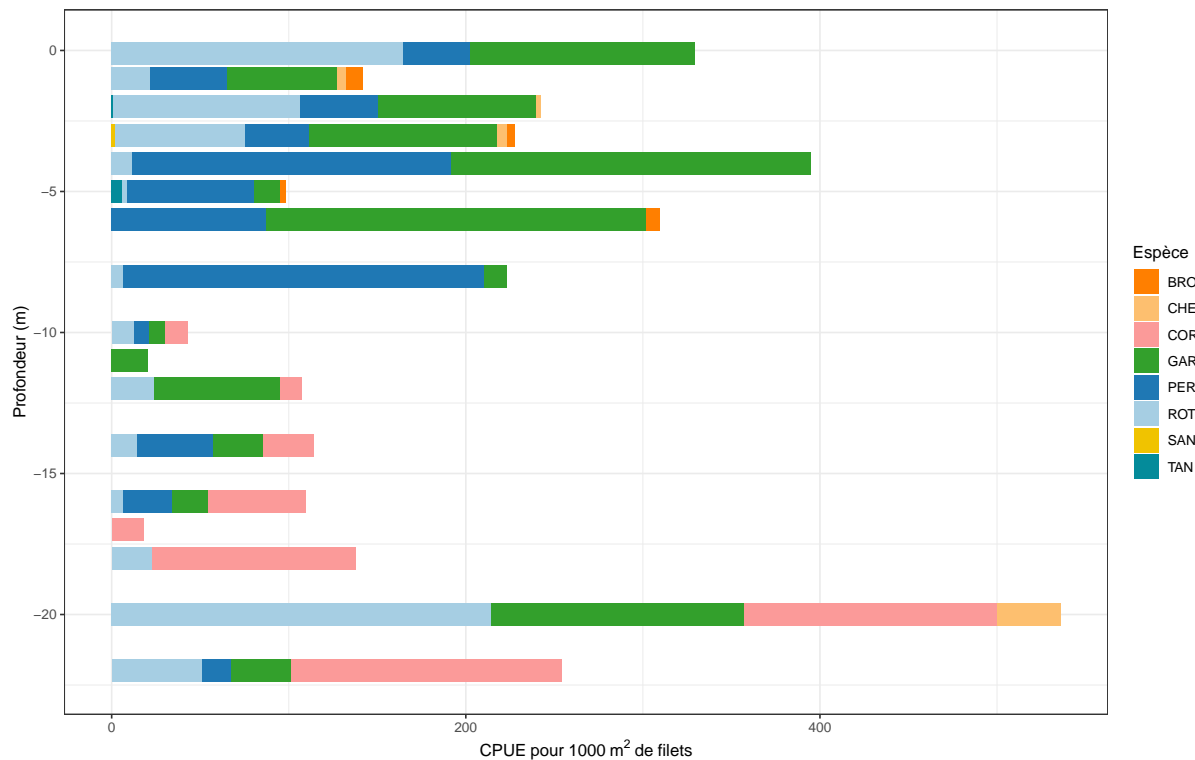


FIGURE 3.10 – CPUE par espèce en fonction de la profondeur pour le lac du Val

La répartition des captures en fonction des habitats de bordure au sein du lac du Val (voir figure 3.11) ne permet pas de dégager de tendance nette.

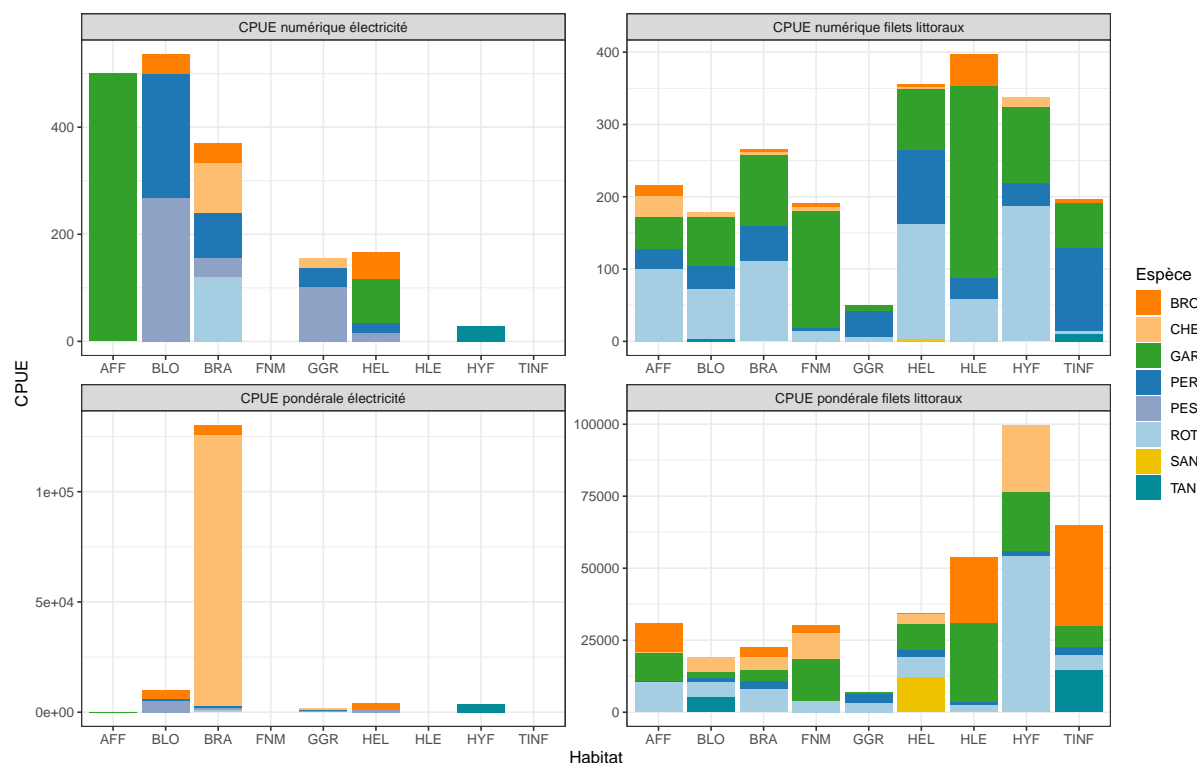


FIGURE 3.11 – *CPUE* par espèce et par mode de pêche en fonction des différents habitats littoraux pour le lac du Val

En conclusion, il apparaît que les peuplements piscicoles des lacs d'Ilay et du Val sont **stables dans le temps**, mais **non référentiels** d'un point de vue **quantitatif**. Les rendements de capture ne présentent pas d'évolution significative, mais la **biodiversité piscicole est altérée**, notamment au sein du lac du Val. La VAN, espèce caractérisée par des exigences écologiques assez soutenues (VERNEAUX 1981), était observée en 2009 et est **absente** en 2016. Ceci traduit un dysfonctionnement au sein de l'hydrosystème Hérisson-lac du Val. À l'inverse, la perche soleil (PES), espèce ubiquiste, semble profiter de conditions peu limitantes pour elle.

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. Cet aspect a été appréhendé au cours de ce diagnostic.

3.2.1 Cartographie de l'espace lacustre

Une reconnaissance de la surface lacustre a été menée afin de cartographier la mosaïque des pôles d'attraction piscicoles (couple substrat/support et hauteur d'eau) ainsi que la bathymétrie du lac (voir figure 3.12).

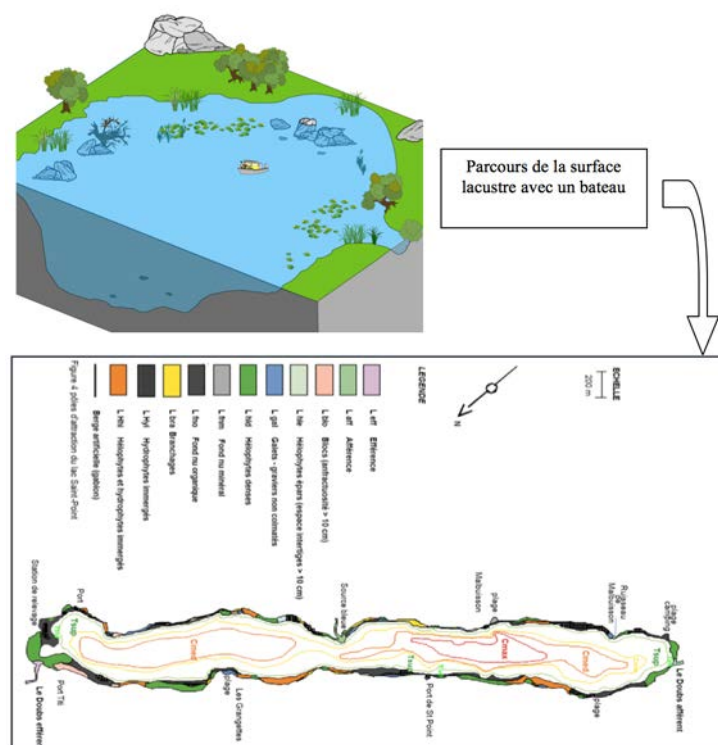


FIGURE 3.12 – Méthodologie concernant la bathymétrie et la cartographie des habitats

Le lac d'Ilay présente une cuvette dont la morphologie peut être distinguée en deux zones (voir figure 3.13). La première, au sud, présente un talus assez marqué puis une zone de faible profondeur (inférieure à 15 mètres environ) assez plate. La deuxième, dans la zone nord du lac, est caractérisé plusieurs points profonds. On peut observer sur l'ensemble du lac :

- une zone littorale assez développée,
- la présence d'une zone profonde de surface relative limitée par rapport à l'ensemble du lac,
- une forte domination des fonds nus minéraux végétalisés, suivis par quelques zones végétalisées d'HÉLophytes (HEL) et d'HYF,
- la composition des habitats complémentaires avec des autres substrats minéraux plus grossiers (GRAviers (GRA), GALets (GAL), BLOCs (BLO)) ainsi que de très rares BRA.

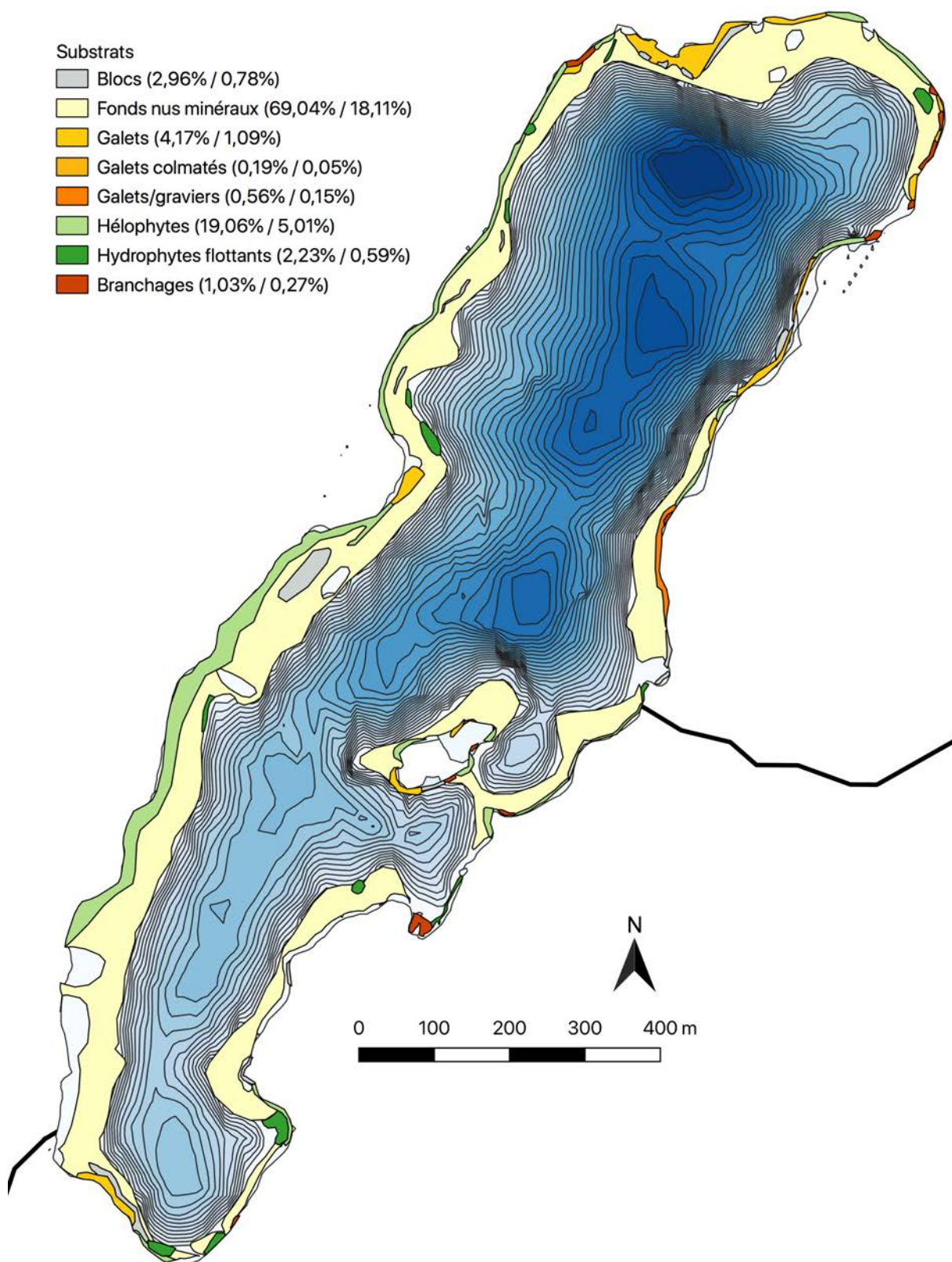


FIGURE 3.13 – Lac d'Ilay - Bathymétrie (pas de 1 mètre) et habitats répertoriés préalablement à la définition du protocole d'échantillonnage aux filets verticaux, avec leur répartition surfacique relative et absolue

Par rapport à celle observée en 1904 (MAGNIN 1904), la flore aquatique du lac d'Ilay présentait en 1986 (MASSON 1986) et en 2004 (VERGON et BOUVET 2004) :

- une disparition totale de la Potamaie (*Potamogeton perfoliatus*),
- une augmentation de l'abondance de *Chara hispida*, traduisant une eau turbide ou polluée,
- le maintien des héliophytes et des nénuphars, signe d'un marnage limité.

Le lac du Val possède une cuvette assez marquée (voir figure 3.14), avec un unique zone profonde à partir de laquelle rayonnent de manière concentrique les isobathes. On peut remarquer :

- une zone littorale plus marquée en rive droite, du fait de la présence du pied de falaise de la vallée du Hérisson en rive gauche,
- la présence d'une zone profonde de surface notable en zone centrale du lac,
- une forte domination des HEL, notamment en rive est et nord
- les HYF et BRA constituent les autres habitats végétalisés en présence, mais en proportion nettement moindres,
- la composition des habitats complémentaires avec des substrats minéraux en quantités variables (Fonds Nus Minéraux (FNM), GRA, GAL, BLO, DALles (DAL))
- la présence d'une AFFérence (AFF) et d'une EFFérence (EFF) connectives et fonctionnelles.

La flore du lac de Val n'a fait l'objet, contrairement à d'autres lacs du département, que de peu d'investigations, dont aucune récente. Comme dans de nombreux lacs du massif, Magnin a fait état d'observations en 1904 (MAGNIN 1904), pour partie rafraîchies en 1974 (BARBE 1974). Les deux auteurs se rejoignent sur le fait que les secteurs remarquables d'un point de vue botanique se situent où la beine lacustre est présente, notamment aux extrémités des du lac.

La qualité morphologique des lacs d'Ilay et du Val **n'a pas fait l'objet d'une intense anthropisation** (curages, rectifications et emmurements) comme d'autres lacs du département (Lac de Chalain et grand lac de Clairvaux notamment). Quelques zones à fort passage sont néanmoins observables, notamment au niveau de points d'accès aux lacs par les embarcations, de stockage de celles-ci ou encore au niveau de zones de baignade non autorisées. Ces points restent toutefois ponctuels.

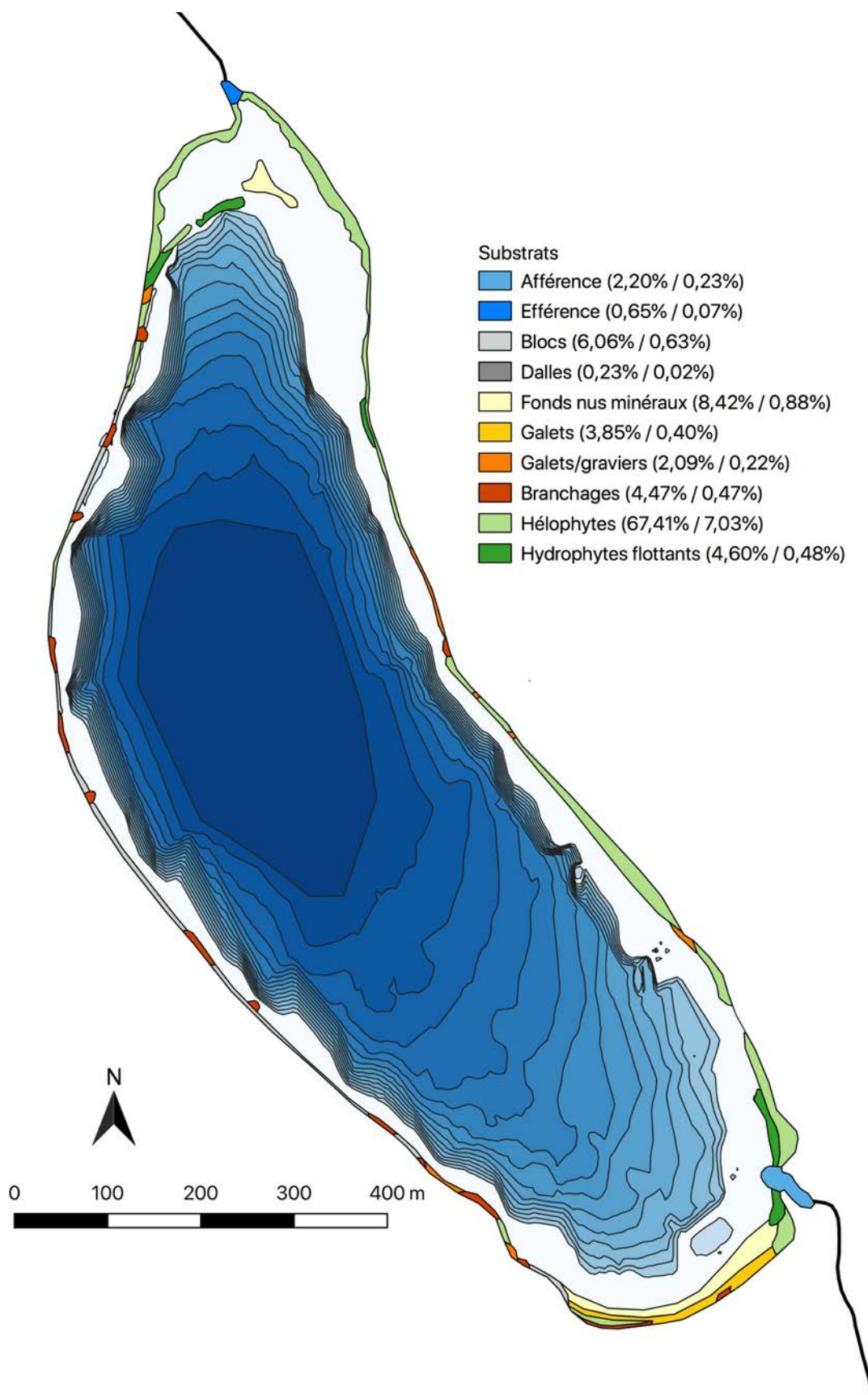


FIGURE 3.14 – Lac du Val - Bathymétrie (pas de 1 mètre) et habitats répertoriés préalablement à la définition du protocole d'échantillonnage aux filets verticaux, avec leur répartition surfaciques relatives et absolues

3.2.2 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 2011). 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 le Hérisson en aval des deux lacs,
 - les volumes prélevés pour l'AEP par le SIE du lac d'Ilay pour le lac d'Ilay,
 - l'évaporation (3 à 5 L/s/ha en été - SCHLUMBERGER et GIRARD 2013), soit entre 216 L/s et 360 L/s environ pour le lac d'Ilay et entre 192 L/s et 320 L/s pour le lac du Val.

Afin de suivre les variations de niveau des deux lacs, un piézomètre a été installé sur chacun en 2017, accompagné d'un baromètre au niveau du lac d'Ilay, utilisé pour le lac du Val.



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.

Les mesures ici effectuées sont relatives au sein de chaque lac, sans calage absolu (NGF). Les premières valeurs des deux chroniques ont arbitrairement été calées à un indice 0.

Il est à noter qu'un problème matériel a empêché l'enregistrement des mesures sur le lac d'Ilay entre le 20 mars et le 4 juin 2019.

La figure 3.16 représente l'évolution interannuelle du niveau des lacs d'Ilay et du Val.

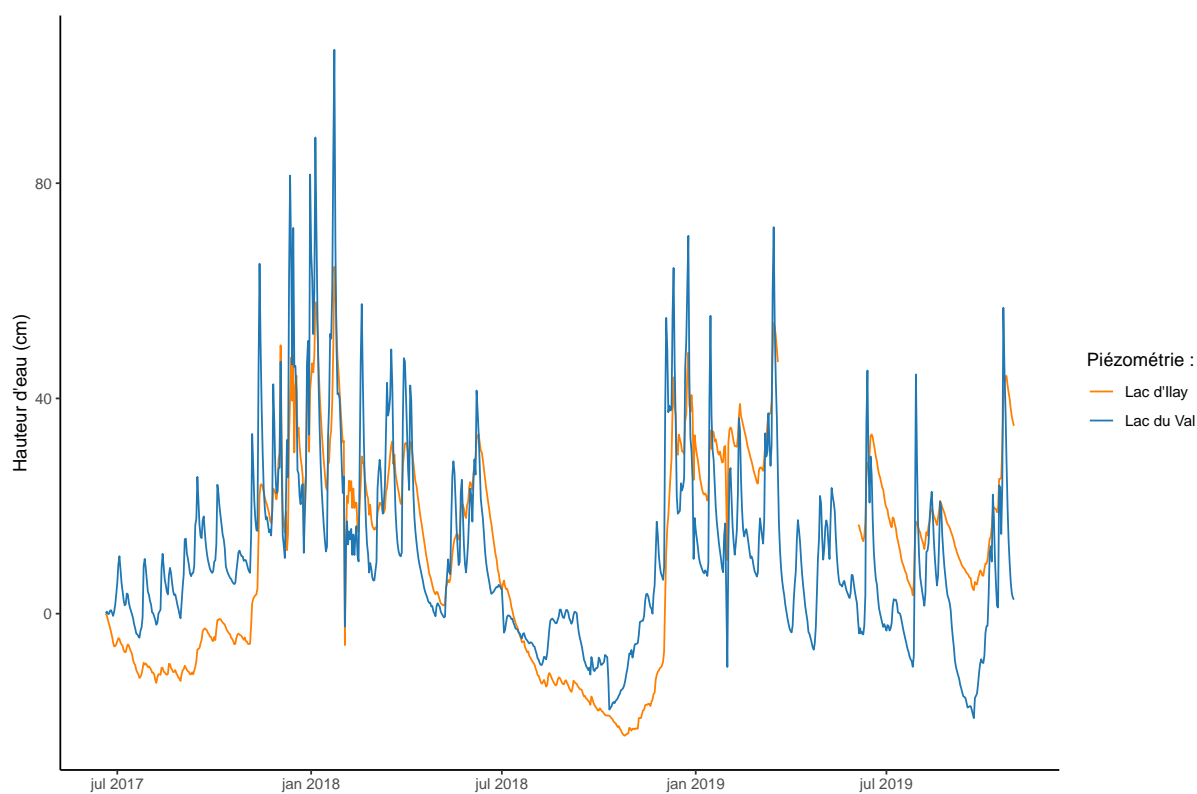


FIGURE 3.16 – Chronique des mesures de hauteur d'eau des lacs d'Ilay et du Val

On observe globalement une structure de variation du niveau assez proche entre les deux lacs. Ce point est cohérent avec le fait qu'ils soient situés sur un même bassin hydrographique et à quelques kilomètres l'un de l'autre au sein de celui-ci. L'amplitude globale observée au cours 30 mois de chronique ici disponibles fait état d'une amplitude totale observée d'environ 125 cm pour le lac du Val et d'environ 85 cm pour le lac d'Ilay.

En détaillant, on remarque une variabilité assez importante du niveau du lac du Val aux épisodes hydroclimatiques, tandis que le lac d'Ilay présente un amortissement plus marqué. La position plus apicale de ce dernier explique peut-être cette observation, avec par ailleurs un effet d'amplification apporté au niveau du lac du Val par les arrivées hydrologiques issues du lac de Bonlieu.

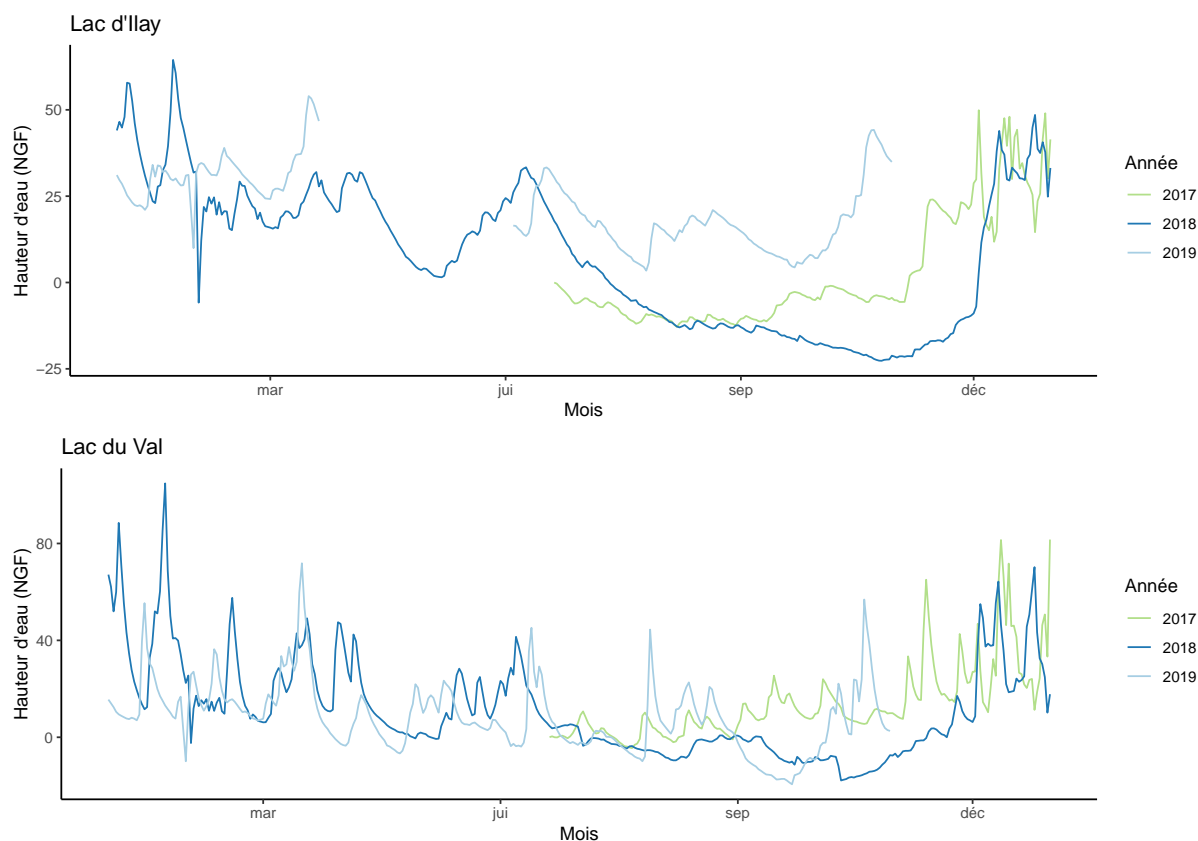


FIGURE 3.17 – Chronique des mesures de hauteur d'eau des lacs d'Ilay et du Val - Superposition annuelle

La figure 3.17 permet de visualiser les évolutions du niveau des lacs sous forme annuelle. Le caractère plus lissé des courbes du lac d'Ilay est confirmé. Le lac du Val a présenté un niveau le plus bas quasiment identique entre 2018 et 2019, avec un décalage de 20 jours environ centrés sur le 1^{er} octobre. Cette valeur basse était plus tardive de 15 jours environ pour le lac d'Ilay en 2018.

On voit que le **printemps** (mars à juin) présente des hauteurs d'eau assez importantes, bien que la chronique au cours de cette période soit encore réduite. Cette **période** est **la plus critique** via-à-vis de la reproduction du brochet, qui démarre par une ponte 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 des lacs d'Ilay et du Val (Vert : variation montante du niveau - Orange : variation descendante du niveau)

Cette figure permet d'observer la répartition au cours du temps de l'amplitude de variation du niveau des deux lacs. On s'aperçoit que les profils des deux lacs sont très semblables, avec encore une fois un effet d'amplification sur le lac du Val par rapport au lac d'Ilay. 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, avec par ailleurs plusieurs épisodes de baisse journalière supérieure à 25 cm. Ces épisodes de fortes baisses succèdent généralement des épisodes de forte hausse issus d'événements pluviométriques.

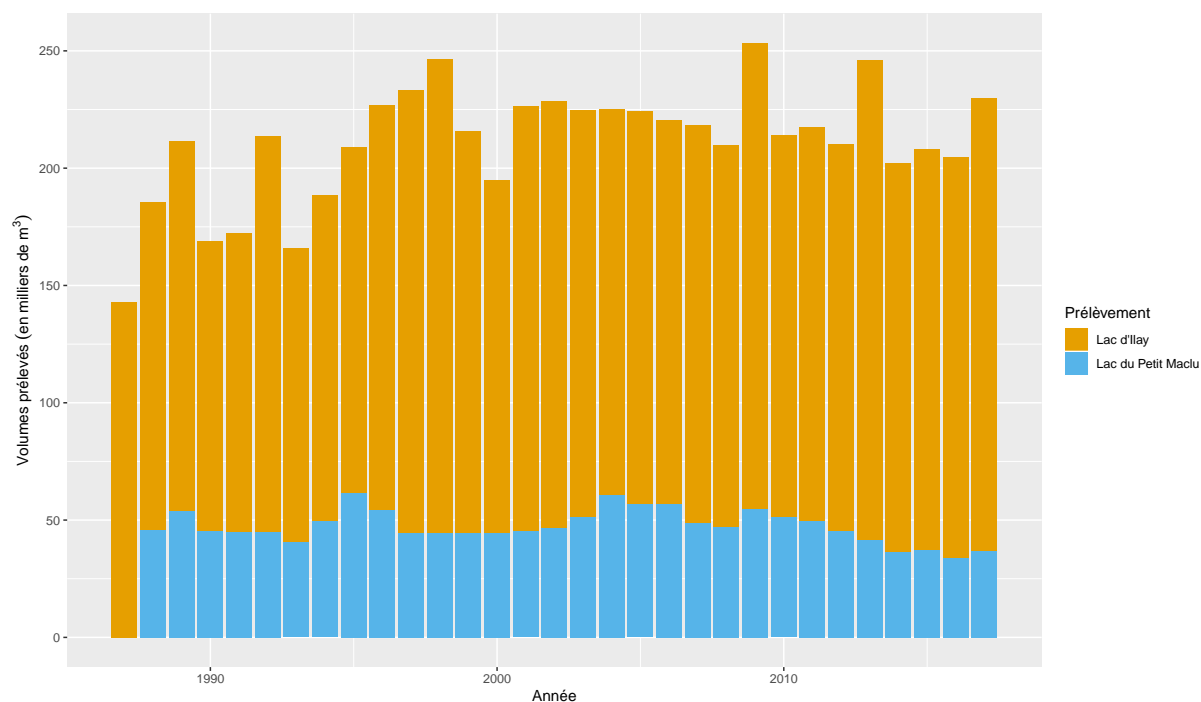


FIGURE 3.19 – Volumes annuels captés pour l'AEP (en milliers de m³) au niveau des prises d'eau des commune de La Chaux-du-Dombief et Le Frasnois - Sources : SIERMC

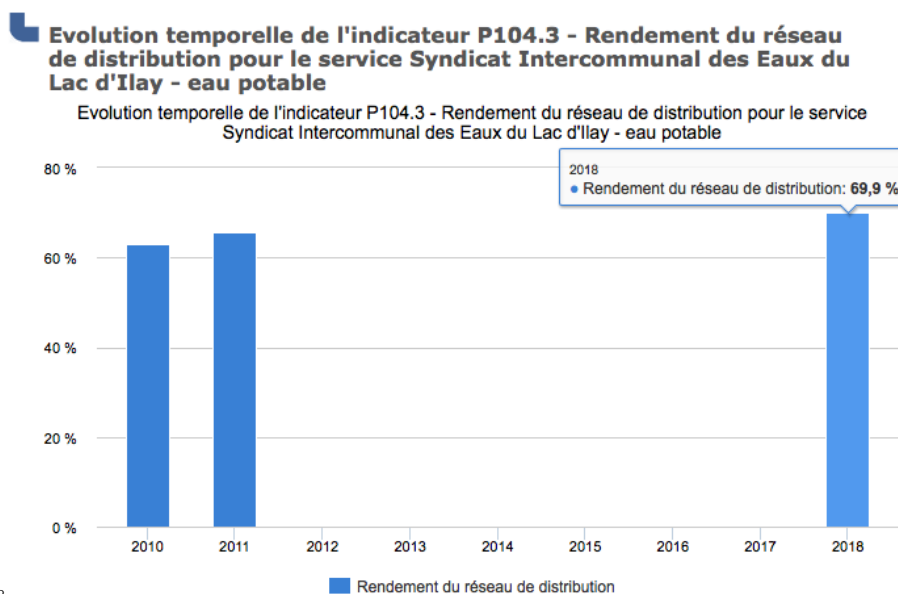


FIGURE 3.20 – Évolution temporelle du rendement du réseau de distribution en eau potable du SIE du lac d'Ilay - Source : <http://www.services.e>

La figure 3.19 représente l'évolution inter-annuelle des volumes captés par le Système d'Information sur l'Eau (SIE) du lac d'Ilay dans les lacs d'Ilay et du Petit Maclu. Ceux-ci varient de 142.8 en 1987 à plus de 253.2 milliers de m³ en 2009. **La pression exercée par l'AEP sur la ressource naturelle que constituent les lacs d'Ilay et Maclu est en baisse après une importante phase d'augmentation 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 vraisemblablement réalisée en période estivale afin de suppléer l'augmentation de la demande. Le **rendement du réseau** du SIE est par ailleurs en légère augmentation sur les

9 dernières années (voir figure 3.20), mais **reste toutefois en-deça de l'objectif minimum de rendement de 85 %** fixé par la Loi Grenelle 2 à travers le décret n°2012-97 du 27 janvier 2012.

En conclusion de cette analyse des variations du niveau des lacs d'Ilay et du Val, il apparaît que :

- l'analyse succincte ici réalisée sur l'évolution journalière des **hauteurs d'eau** fait état de **variations liées aux conditions hydroclimatiques naturelles** ;
- les **pompages** réalisés au titre de l'AEP dans le Petit Lac sont **en stagnation** sur la période récente, mais avec un **rendement du réseau inférieur à 70 %**.

3.2.3 Physico-chimie des eaux

Méthodes d'investigation

La qualité de l'eau des lacs a fait l'objet d'un suivi régulier au titre de la DCE :

- Lac d'Ilay : BUREAU D'ÉTUDES S.T.E. 2010 ; ONEMA 2011 ; ONEMA 2013 ; BOURGEOT et OLIVETTO 2016 ; BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2019
- Lac du Val : ANONYME 2011 ; PÉRICAT et COPPIN 2011 ; OLIVETTO et BOURGEOT 2014 ; ANONYME 2015

Ainsi, seul un suivi physico-chimique simple a été réalisé sur ces lacs, 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

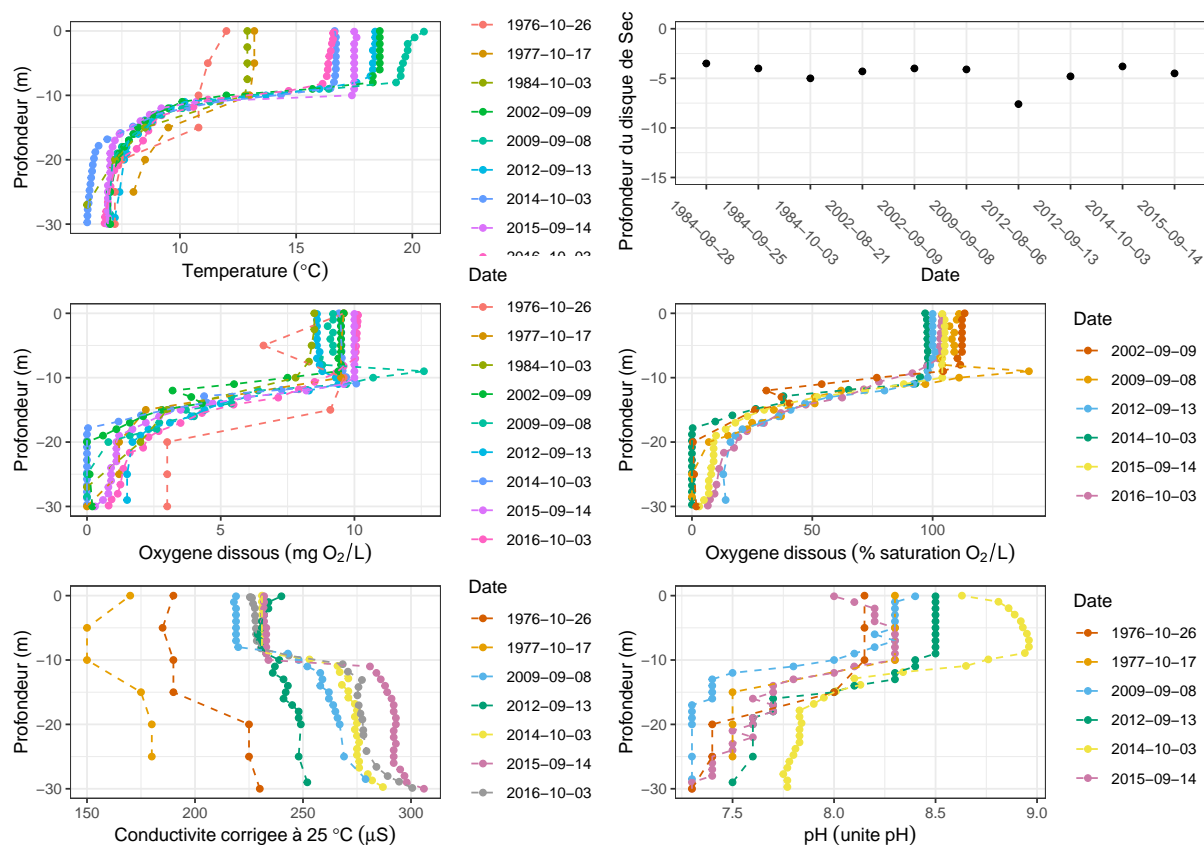


FIGURE 3.21 – Profils verticaux réalisés dans le lac d'Ilay au point de plus grande profondeur en fin de période de stratification estivale

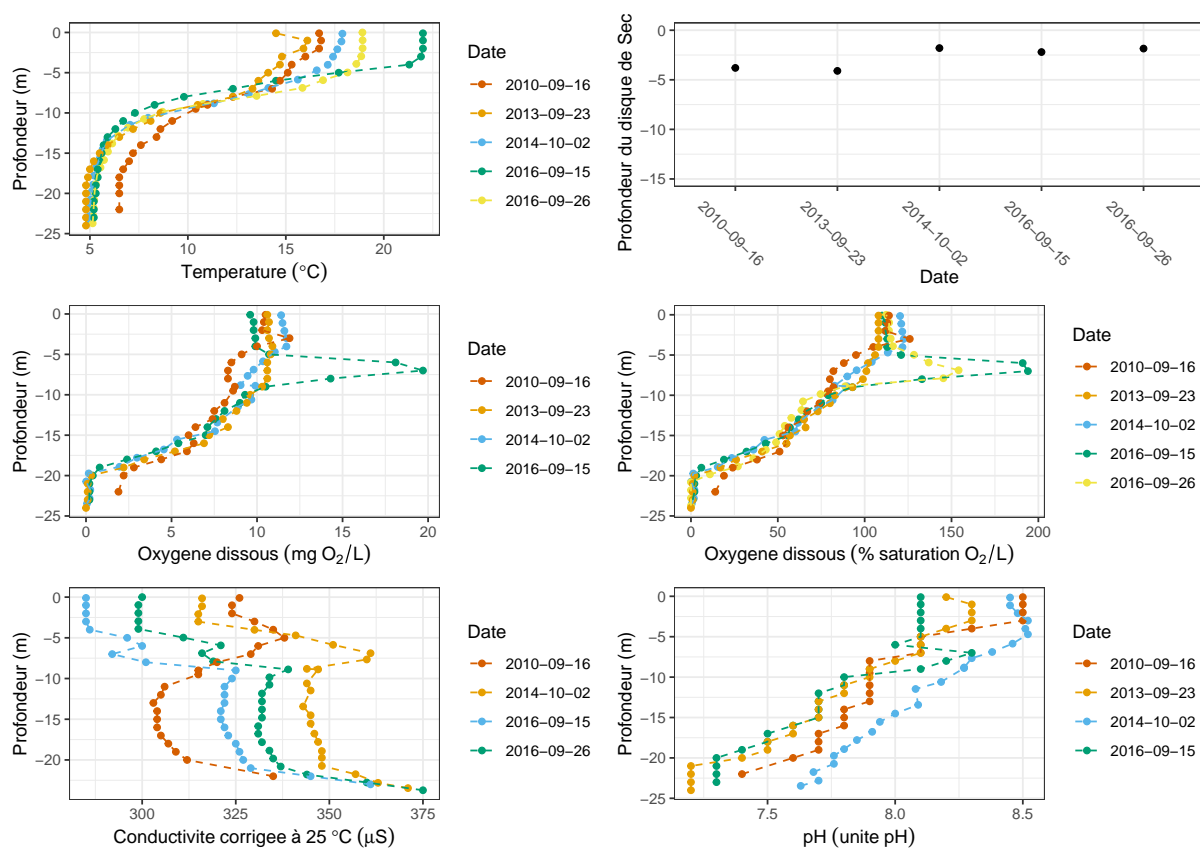


FIGURE 3.22 – Profils verticaux réalisés dans le lac du Val au point de plus grande profondeur en fin de période de stratification estivale

La synthèse des profils de mesures physico-chimiques réalisées lors des différentes campagnes de suivi des lacs d'Ilay et du Val en fin de période de stratification estivale (figures 3.21 et 3.22) permet de tirer quelques observations (données historiques issues de MASSON 1986 ; BUREAU D'ÉTUDES S.T.E. 2010 ; ONEMA 2011 ; ONEMA 2013 ; BOURGEOT et OLIVETTO 2016 ; BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2019 ; ANONYME 2011 ; PÉRICAT et COPPIN 2011 ; OLIVETTO et BOURGEOT 2014 ; ANONYME 2015 ; RAYMOND 2005 ; 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 1976-77, puis 2009 à 2016 et celles des années 2010 (100 à 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pour le lac d'Ilay, et de plusieurs dizaines de $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le lac du Val entre 2010 et 2016. 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 ; FAGOT 2019).
- 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 pour le lac du Val, et sur les 12 derniers mètres pour le lac d'Ilay soit **40 % de la profondeur totale**.

Concernant le lac d'Ilay :

- la demande en oxygène observée s'explique par des processus biologiques, notamment afin de dégrader la **matière organique** accumulée dans le **sédiment**. Celle-ci constitue une **très forte part** (23 %) des sédiments (BOURGEOT et OLIVETTO 2016 ; BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2019) ;
- trois des quatre campagnes de chimie des eaux de fond de 2018 montrent la présence d'**ammonium**, dans des concentrations notables et comprises entre 0,14 et 0,38 $\text{mg}(\text{NH}_4)/\text{L}$;
- la recherche de micropolluants dans l'eau montre la présence, toujours en 2018, de **nicotine** et dérivé, de **caféine**, de metformine (**antidiabétique**) et de metoprolol (**bêta-bloquant**), tous traceurs de **rejets domestiques** ;
- les sédiments présentent pour leur part des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) ainsi que trois formes de crésol, substance notamment utilisée dans la fabrication d'**herbicides**, et également retrouvé la même année dans le Grand Maclu ainsi que de PolyChloroBiphényles (PCB) (BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2019).
- les sédiments contiennent, lors des campagnes de 2009, 2012, 2015 et 2018, des concentrations en arsenic de respectivement 12.5, 32.9, 23.0 et 21.0 $\text{mg}(\text{As})/\text{kg}$. Ces concentrations sont susceptibles d'engendrer des effets de manière occasionnelles à fréquentes sur les organismes vivants (ENVIRONNEMENT CANADA 2007).

Concernant le lac du Val :

- Une **très forte valeur de sursaturation en oxygène** (193 %) au niveau de la thermocline a été observée en septembre 2016, du fait de la production photosynthétique phytoplantonique ;
- deux campagnes de chimie des eaux de fond de 2013 montrent la présence d'ammonium, dans des concentrations notables et comprises entre 0,12 et 0,15 mg(NH_4)/L (OLIVETTO et BOURGEOT 2014) ;
- la recherche de micropolluants dans l'eau montre la présence, en 2016, de **nicotine** et de **caféine**, traceurs de rejets domestiques (BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2017) ;
- la demande en oxygène observée s'explique par des processus biologiques, notamment afin de dégrader la **matière organique** accumulée dans les **sédiments**, très fins par ailleurs (BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2017). Celle-ci constitue une **faible part** (6,9 %) des sédiments (BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2017).
- les sédiments présentent pour leur part des HAP ainsi que des traces de DDT-p,p', insecticide organochloré (BOURGEOT, OLIVETTO et PROMPT 2017).

La qualité physico-chimique des lacs du Val et d'Ilay présentent différents constats :

- La **présence de pollutions** d'origine domestique *a minima* est **avérée**. On observe notamment la présence de nicotine et de caféine.
 - On remarque également la **présence de molécules toxiques** organiques ou minérales telles que des HAP, des produits phytosanitaires et des Éléments Traces Métalliques (ETM).
-

États des lieux

Les constats réalisés précédemment sont à mettre en relation. Le bassin d'alimentation du lac d'Ilay est globalement bien connu du fait de son utilisation pour l'AEP. Les arrivées hydrologiques sont principalement assurées par le ruissellement et par l'émissaire des lacs Maclu voisins. Son petit bassin versant topographique (environ 5 km^2) est principalement occupé par des zones forestières et prairiales, ainsi que par quelques habitations. L'intérêt écologique de la zone est également reconnu par l'inscription du secteur au sein du Site d'Intérêt Communautaire (SIC) « FR4301330 - Complexe des Sept Lacs du Jura » de la Directive Habitats-Faune-Flore (DHFF). L'enjeu de **préservation de la qualité des eaux du lac** est majoré par le fait :

- qu'il alimente par des écoulements souterrains et pour partie le lac de Narlay, qui lui-même alimente en partie le lac de Chalain,
- qu'il est situé en tête de bassin du Hérisson, avec le lac de Bonlieu.

L'observation des suivis de la qualité de l'eau et des sédiments réalisés au titre de la DCE font état d'**arrivées d'eaux ne faisant pas l'objet d'un assainissement efficace**, ainsi que de la présence de nombreux HAP, dont certains en fortes concentrations, de produits phytosanitaires et d'ETM.

Les sédiments de fond contiennent au moins depuis les années 80 d'importantes quantités de matière organique (MASSON 1986). Ceci entraîne une dégradation des conditions des zones profondes, du fait d'une **mauvaise assimilation au sein des réseaux trophiques**, formant une impasse trophique »(ONEMA 2013).

Des recherches (BELLE et al. 2014; BELLE et al. 2016b) ont montré sur le lac de Narlay une intrication dans le déclenchement de profondes modifications trophiques (activation d'une voie d'utilisation du méthane) suite aux évolutions climatiques naturelles et à l'évolution des modes d'utilisation du territoire par l'activité humaine. Ces constats mettent en évidence la **forte responsabilité de maîtrise des impacts** des activités actuelles sur le bassin versant, amplifié par le contexte de changement climatique actuel.

Le **peuplement piscicole** du lac d'Ilay présente une situation **assez stable** dans le temps, avec des limitations quantitatives. La désoxygénation de la zone profonde en fin de période de stratification estivale, existante depuis plusieurs décennies et sans évolution récente, peut être une des causes des faibles densités observées. Un diagnostic plus fin doit toutefois être envisagé afin de comprendre la trajectoire évolutive du plan d'eau,

dont l'état du peuplement piscicole est une conséquence.

Le lac du Val fait état d'une situation plutôt préservée. Sa position est plus basale au sein de la chaîne hydrographique du Hérisson, agrandissant de fait la superficie de son bassin versant topographique, et en amont immédiat du lac de Chambly. L'occupation des sols au sein de ce territoire est semblable à celle du lac d'Ilay, avec en majorité des surfaces boisées et agricoles.

Néanmoins, la présence de nicotine et de caféine traduit l'**arrivée d'eaux domestiques non traitées**. La **présence** de traces dans les sédiments superficiels d'**insecticides interdits à l'utilisation** depuis plusieurs décennies doit également interroger les usages de pesticides sur le territoire.

Le **Hérisson**, tant dans sa partie d'afférence (amont) que d'efférence (aval), **joue un rôle majeur en tant qu'élément structurant d'habitats** pour de nombreuses espèces animales et végétales de milieux aquatiques et humides. Le corégone va par exemple pouvoir utiliser ces secteurs pour sa reproduction. La qualité physique limitante de celui-ci est aujourd'hui un frein potentiel à l'apport normalement attendu de ces écotones.

Les **peuplements macrohytiques** du lac du Val, mais également du lac d'Ilay, sont **peu développés**, sans élément strict de compréhension à ce jour.

Le **peuplement piscicole** observé au sein du lac du Val semblent être dans une **tendance de banalisation**, avec le développement de la perche soleil et la non observation de la vandoise. La population de corégone interroge quant à ses faibles effectifs de juvéniles, notamment en rapport à la désoxygénation du lac qui est moins importante en zone profonde en fin de période de stratification estivale par rapport à d'autres plans d'eau jurassiens.

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, notamment au niveau du Hérisson en amont et en aval du lac du Val :

- Une **restauration morphologique**, qui, en réhaussant la cote de fond du lit et en réduisant la section, permettrait de **reconstituer les habitats** de ce cours d'eau, en favorisant la recréation d'une hétérogénéité et d'une attractivité favorables aux espèces (poissons, macroinvertébrés, végétaux, etc.) ;
- Des **aménagements restauratoires des zones humides** (comblement de drains, déboisement, aménagements, etc.) doivent être envisagés dans le même temps, en fonction des objectifs de gestion de ces espaces.

Une réflexion est actuellement portée par la Fédération Départementale des Chasseurs du Jura (FDCJ) au niveau du lac de Chambly, avec un travail partenarial à l'échelle de la vallée « basse » du Hérisson dans son ensemble. Le Conservatoire d'Espaces Naturels de Franche-Comté (CEN) Franche-Comté et la FJPPMA portent historiquement une réflexion environnementale concernant les bordures du lac du Val en vue d'une restauration. Des enjeux fonciers doivent néanmoins être résolus. **Cette démarche doit être menée à bien afin d'offrir de nombreux bénéfices environnementaux et sociétaux notamment.**

Un important travail est mené depuis de nombreuses années autour du lac d'Ilay par l'animation du SIC Natura 2000 « FR4301330 - Complexe des Sept Lacs du Jura », le SIE du lac d'Ilay et le CEN afin d'acquérir petit-à-petit une maîtrise foncière autour de celui-ci. Cette dynamique permet aujourd'hui de pouvoir mettre en place une gestion environnementale et de d'avoir un contrôle sur les pressions anthropiques exercées sur le pourtour immédiat du lac.

5.2 Usages sur le bassin versant

- Des **arrivées d'eaux usées non traitées** ont un impact négatif sur la qualité des eaux des lacs. L'identification de leur origine et l'aménagement des réseaux et/ou des Assainissements Non Collectifs (ANC) défaillants doivent faire l'objet d'actions ambitieuses et rapides.
- Une analyse des modalités et de la distribution temporelle des prélèvements et des consommations en AEP par le SIE permettrait de comprendre la **répartition des pompages** au cours du temps, en lien avec les **variations du niveau** du lac d'Ilay, ainsi que d'établir une **cartographie des pertes au sein des réseaux**. Ceci passe notamment par l'accessibilité aux données fines de pompages et de comptage auprès du SIE.
- Les modalités de mise en œuvre de traitements phytosanitaires, comme 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, ou encore les éventuels **usages agricoles** et/ou **domestiques**.

5.3 Suivi

- 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, de Clairvaux, de Chambly, de l'Abbaye, 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 Conseil Départemental du Jura (CD39) et la FJPPMA. Cette action est réalisée en complément du suivi DCE réalisé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse (AERMC).
- La réalisation de **suivis physico-chimiques de la qualité de l'eau du Hérisson**, notamment concernant les nutriments, serait à envisager en tenant compte de la présence de quelques habitations en amont et en aval du lac du Val.

5.4 Connaissance

- La réalisation d'un Indice Biotique Lacustre (IBL) dans le lac d'Ilay permettrait d'établir un **état des lieux de la faune benthique** de celui-ci, qu'il serait possible de comparer aux données historiques disponibles.
- 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, de Bonlieu, de Remoray et est projetée sur

le lac de l'Abbaye en 2020. Cette approche paléolimnologique permet de comprendre l'**évolution du fonctionnement d'un lac** à travers différents indicateurs : pigments photosynthétiques, restes de chironomes sub-fossiles, taux d'accumulation en carbone organique, pollens, spores d'organismes coprophiles, enregistrements du paléo-climat, etc.

- L'acquisition de données sur les **macrophytes aquatiques**, de manière semblable à BAILLY et al. 2007, permettrait de qualifier plus finement leur répartition et surtout l'**état de conservation** des populations et les éventuels facteurs limitant. Les états actuels sont difficilement expliqués à ce jour (PÉRICAT et COPPIN 2011 ; COPPIN 2013).
- Le **suivi piscicole** serait à renouveler a minima dans la prochaine décennie, idéalement après 5 années, temps de renouvellement approximatif du peuplement piscicole.

5.5 Synthèse

Le tableau 5.1 établit 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	Habitats	Restauration morphologique (lac du Val) Restauration morphologique des zones humides	- Hérisson - Autres affluents directs - Oblitération des fossés de drainage - Maîtrise foncière
Usages	Assainissement AEP Agriculture Exploitation sylvicole Usages domestiques de pesticides	Stopper les arrivées d'eaux usées non traitées Amélioration des rendements Connaître et améliorer si nécessaire les pratiques Connaître et améliorer si nécessaire les pratiques Connaître et améliorer si nécessaire les pratiques	- Identification des origines - Aménagement des réseaux - Contrôles des ANC - Diagnostic des pratiques - Diagnostic des pratiques - Diagnostic des pratiques
Suivi	Eau des affluents Eau des lacs	Nutriments Hauteurs d'eau Physico-chimie	- Suivi à réaliser - Poursuite du suivi piézométrique - Poursuite d'un suivi en fin de période de stratification estivale
Connaissance	Bassin versant Sédiments Végétation aquatique Eau du lac	Toxiques Historique État de conservation Biologie	- Origine des pollutions observées - Analyse et interprétation des carottes de sédiments - Évaluation des facteurs limitant - IBL - Renouvellement du suivi piscicole

Les lacs d'Ilay et du Val offrent un cadre naturel et paysager splendide, justifiant pour partie l'opération « Grand site de France » en cours.

Des activités humaines 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'afférence et de l'exutoire du lac du Val ont 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. Les capacités de stockage en eau et d'autoépuration ont également été altérées.

Afin de maintenir et/ou 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 des hydrosystèmes associés, l'évolution de certaines pratiques sur le territoire et/ou d'aménagements de l'espace, et la recherche de nouvelles clés de compréhension des fonctionnements écologiques actuels.

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 du Val et d'Ilay avancera vers une amélioration écologique, donc paysagère, culturelle et sociale.

Bibliographie

- 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 (déc. 2011). *Suivi Des Plans d'eau Des Bassins Rhône-Méditerranée et Corse En Application de La Directive Cadre Sur l'Eau (Sites de Référence, Réseau de Contrôle de Surveillance et Contrôle Opérationnel) - Note Synthétique d'interprétation Des Résultats - Val (39 : Jura) - Campagnes 2010*. Rapp. tech. Agence de l'eau RMC - ONEMA, p. 20.
- (2015). *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 - Val - Campagnes 2013*. Rapp. tech. AERMC - ONEMA, p. 22.
- 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 Verinois (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 (1974). « Étude de Trois Lacs Du Bassin de l'Ain (Lac de Bonlieu, Lac Du Val, Lac d'Antre) ». In : *Bulletin de la Fédération des Sociétés d'histoire naturelle de Franche-Comté* LXXVI, p. 71-85.
- BARBE, Jacques et al. (mai 2007). *Diagnose Du Lac Le Val (Jura)*. Rapp. tech. Lyon : CEMAGREF, p. 28.
- 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. (juil. 2016c). « Increase in Benthic Trophic Reliance on Methane in 14 French Lakes during the Anthropocene ». en. In : *Freshwater Biology* 61.7, p. 1105-1118. ISSN : 1365-2427. DOI : 10.1111/fwb.12771.
- BIVAND, Roger, Tim KEITT et Barry ROWLINGSON (2017). *Rgdal : Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library*.
- 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.
- BOURGEOU, François et Arnaud OLIVETTO (août 2016). *Surveillance de La Qualité Des Plans d'eau Des Bassins Rhône Méditerranée Corse – Suivi 2015 – Rapport de Données et d'interprétation – Lac d'Ilay (Jura)*. Rapp. tech. Agence de l'eau RMC, p. 24.
- BOURGEOU, François, Arnaud OLIVETTO et Philippe PROMPT (nov. 2017). *Surveillance de La Qualité Des Plans d'eau Des Bassins Rhône Méditerranée Corse – Suivi 2016 – Rapport de Données et d'interprétation – Lac Du Val (Jura)*. Rapp. tech. 1411FB17. Agence de l'eau RMC, p. 36.
- (oct. 2019). *Surveillance de La Qualité Des Plans d'eau Des Bassins Rhône Méditerranée Corse – Suivi 2018 – Rapport de Données et d'interprétation – Lac d'Ilay (Jura)*. Rapp. tech. Agence de l'eau RMC, p. 40.
- BUREAU D'ÉTUDES S.T.E. (mai 2010). *Étude Des Plans d'eau Du Programme de Surveillance Des Bassins Rhône - Méditerranée et Corse - Lac d'Ilay (39) - Rapport de Données Brutes - Suivi Annuel 2009*. Rapp. tech. 08-283/2010-PE2009-12. Agence de l'eau RMC, p. 34.
- COPPIN, Hervé (sept. 2013). *Étude Des Plans d'eau Du Programme de Surveillance Des Bassins Rhône - Méditerranée et Corse - Rapport de Données Brutes et Interprétation - Lac d'Ilay - Suivi Annuel 2012*. Rapp. tech. 08-283/2013-PE2012-14. AERMC, p. 39.
- DAHL, David B. (2019). *Xtable : Export Tables to LaTeX or HTML*.
- DEGIORGI, F. et al. (1993). « Relations Entre La Topographie Aquatique et l'organisation Spatiale de l'ichtyofaune Lacustre : Définition Des Modalités Spatiales d'une Stratégie de Prélèvement Reproductible ». In : *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 329, p. 199-220. ISSN : 0767-2861. DOI : 10.1051/kmae:1993021.
- DEGIORGI, François (1994). « Étude de l'organisation spatiale de l'ichtyofaune lacustre - Prospection multisaisonnière de 6 plan d'eau de l'Est de la France à l'aide de filets verticaux ». français. Thèse de doctorat. Besançon : Université de Franche-Comté.
- DEGIORGI, François et Jean-Pierre GRANDMOTTET (1992). « Impacts de La Désoxygénation Chronique de l'hypolimnion d'un Lac de Moyenne Montagne Sur Son Ichtyofaune ». In : *Ichthyophysiologica Acta* 15, p. 79-97.

- 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.
- 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 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). *Ggspatial : 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.
- FAGOT, Jean-Baptiste (2011). *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.
- (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.
- (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.
- (mar. 2019). *Grand Lac de Clairvaux - Suivi Piscicole et Identification de La Contamination Toxique*. Rapp. tech. Lons-le-Saunier : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 57.
- 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.

- 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.
- IRZ, Pascal, Christine ARGILLIER et Thierry OBERDORFF (juil. 2004). « Native and Introduced Fish Species Richness in French Lakes : Local and Regional Influences ». en. In : *Global Ecology and Biogeography* 13.4, p. 335-344. ISSN : 1466-8238. DOI : 10.1111/j.1466-822X.2004.00109.x.
- 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.
- 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, Michel (1992). « Holocene Lake-Level Fluctuations in Jura and the Northern Subalpine Ranges, France : Regional Pattern and Climatic Implications ». In : *Boreas* 21.4, p. 319-334.
- (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.
- 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. (1986). *Lac d'Ilay (Jura) - Étude Écologique*. Rapp. tech. Besançon : SRAE de Franche-Comté, p. 95.
- MOREAU, H. (1922). « Les Forces Hydrauliques Dans Le Département Du Jura ». In : *Société d'émulation du Jura* 11è série.1er volume, p. 91-106.
- 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.
- OLIVETTO, Arnaud et François BOURGEOT (nov. 2014). *Surveillance de La Qualité Des Plans d'eau Des Bassins Rhône Méditerranée Corse - Suivi 2013 - Rapport de Données et d'interprétation - Lac Du Val (Jura)*. Rapp. tech. 0704FB14. Agence de l'eau RMC, p. 20.
- ONEMA (oct. 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 - Lac d'Ilay (Ou La Motte) (39 : Jura) - Campagnes 2009*. Rapp. tech. AERMC - ONEMA, p. 20.
- (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 - Lac d'Ilay (Ou La Motte) (39 : Jura) - Campagnes 2012*. Rapp. tech. AERMC - ONEMA, p. 20.
- 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.
- PÉRICAT, Audrey et Hervé COPPIN (sept. 2011). *Étude Des Plans d'eau Du Programme de Surveillance Des Bassins Rhône-Méditerranée et Corse - Rapport de Données Brutes et Interprétation - Lac de Val - Suivi Annuel 2010*. Rapp. tech. 08-283/2011-PE2010-21. Agence de l'eau RMC, p. 41.
- PostGIS* (2017).
- POSTGRES SQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP (oct. 2017). *PostgreSQL*.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (sept. 2019). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation.
- R CORE TEAM (mar. 2019). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienne, Autriche.
- RAYMOND, Jean-Claude (avr. 2005). *Le Lac d'Ilay - Etat Du Peuplement Piscicole - Campagne 2002-2003*. Rapp. tech. Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique - CSP, p. 17.

- RSTUDIO TEAM (2019). *RStudio : Integrated Development for R*. RStudio, Inc. Boston, MA.
- 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.
- SCHLUNKE, Daniel et Pascal VONLANTHEN (fév. 2014). *Contrôle de l'efficacité Du Repeuplement de Corégones Dans Le Lac de Chalain*. Rapp. tech. Châtonnaye : Aquabios - Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques, p. 7.
- SCHLUNKE, Daniel, Pascal VONLANTHEN et Guy PÉRIAT (déc. 2015). *Efficacité Du Repeuplement de Corégones Dans Le Lac d'Ilay*. Rapp. tech. Châtonnaye : Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, p. 12.
- SLOWIKOWSKI, Kamil (2019). *Ggrepel : Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'Ggplot2'*.
- VERGON, Jean-Paul, Jacques BARBE et J.-P. MASSON (1977). « Observations et Données Écologiques Récentes Sur Quelques Lacs Du Jura Central ». In : *Bulletin de la Fédération des Sociétés d'histoire naturelle de Franche-Comté* 78, p. 51-63.
- VERGON, Jean-Paul et Nathalie BOUVET (déc. 2004). *Les Lacs Du Frasnois - Ilay, Narlay, Petit et Grand Maclu - Synthèse de Données*. Rapp. tech. AERMC - Conseil Général du Jura, p. 109.
- 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.
- (1981). « Les Poissons et La Qualité Des Cours d'eau ». In : *Annales scientifiques de l'université de Franche-Comté - Besançon* 4, p. 33-41.
- 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.
- 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 (2019). *Readxl : Read Excel Files*.
- WICKHAM, Hadley et Lionel HENRY (2019). *Tidyr : Tidy Messy Data*.
- WICKHAM, Hadley et Edgar RUIZ (2019). *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. (2019). *Dplyr : A Grammar of Data Manipulation*.
- WILKE, Claus O. (2019). *Cowplot : Streamlined Plot Theme and Plot Annotations for 'Ggplot2'*.

XIE, Yihui (2019). *Knitr : A General-Purpose Package for Dynamic Report Generation in R.*

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

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
BRO	7		8	6		21
CHE	1			1		2
COR	14	88			102	204
GAR	254	14	35	81	17	401
OCL	6			6		12
PER	691		31	69	7	798
ROT	109	26	22	264	33	454
TAN	5			4	1	10
Total	1087	128	96	431	160	1902

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

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
BRO	5.78		1.19	2.60		9.57
CHE	0.19			1.81		2.00
COR	2.45	13.71			15.73	31.89
GAR	10.18	0.22	0.09	4.00	0.81	15.31
OCL	0.08			0.13		0.21
PER	15.80		0.13	3.11	0.31	19.35
ROT	14.74	0.82	0.23	45.63	1.96	63.39
TAN	8.31			5.42	0.97	14.71
Total	57.54	14.76	1.64	62.71	19.77	156.42

TABLE .0.3 – Récapitulatif des effectifs capturés dans le lac du Val (en nombre d'individus)

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
BRO	2		9	8		19
CHE			11	9		
COR	1	15			47	63
GAR	122	34	15	167	27	365
PER	85	5	25	99	38	252
PES			26			26
PFL	83		3	46		132
ROT	27		13	157	21	218
SAN				1		1
TAN			1	3		4
Total	320	54	103	490		

TABLE .0.4 – Récapitulatif des biomasses capturées dans le lac du Val (en kg)

codeespece	CENb	CENp	EBP	FVL	FVS	Total
BRO	0.66		0.83	11.18		12.66
CHE			13.31	9.72	2.15	25.19
COR	0.79	7.93			37.74	46.46
GAR	8.83	1.09	0.01	15.46	1.56	26.95
PER	3.67	0.64	0.14	3.36	3.37	11.18
PES			0.54			0.54
PFL	3.39		0.04	1.72		5.15
ROT	2.65		0.14	18.31	3.84	24.93
SAN				4.26		4.26
TAN			0.13	4.98		5.11
Total	19.99	9.66	15.13	69.00	48.66	162.44

.1 Informations techniques

```
## Session info
## setting value
## version R version 3.5.3 (2019-03-11)
## os macOS High Sierra 10.13.6
## system x86_64, darwin15.6.0
## ui X11
## language (EN)
## collate fr_FR.UTF-8
## ctype fr_FR.UTF-8
## tz Europe/Paris
## date 2020-02-12
##
## Packages
## package * version date lib source
## aquatools * 0.0.124 2020-02-12 [1] local
## assertthat 0.2.1 2019-03-21 [1] CRAN (R 3.5.2)
## backports 1.1.5 2019-10-02 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 1.2.0 2019-07-09 [1] CRAN (R 3.5.2)
## broom 0.5.3 2019-12-14 [1] CRAN (R 3.5.2)
## callr 3.4.0 2019-12-09 [1] CRAN (R 3.5.2)
## cellranger 1.1.0 2016-07-27 [1] CRAN (R 3.5.0)
## class 7.3-15 2019-01-01 [1] CRAN (R 3.5.3)
## classInt 0.4-2 2019-10-17 [1] CRAN (R 3.5.2)
## cli 2.0.0 2019-12-09 [1] CRAN (R 3.5.2)
## codetools 0.2-16 2018-12-24 [1] CRAN (R 3.5.3)
## colorspace 1.4-1 2019-03-18 [1] CRAN (R 3.5.2)
## cowplot * 1.0.0 2019-07-11 [1] CRAN (R 3.5.2)
## crayon 1.3.4 2017-09-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## DBI 1.1.0 2019-12-15 [1] CRAN (R 3.5.3)
## dbplyr 1.4.2 2019-06-17 [1] CRAN (R 3.5.2)
## desc 1.2.0 2018-05-01 [1] CRAN (R 3.5.0)
## devtools 2.2.1 2019-09-24 [1] CRAN (R 3.5.2)
## digest 0.6.23 2019-11-23 [1] CRAN (R 3.5.2)
## dplyr * 0.8.3 2019-07-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## e1071 1.7-3 2019-11-26 [1] CRAN (R 3.5.2)
## ellipsis 0.3.0 2019-09-20 [1] CRAN (R 3.5.2)
## evaluate 0.14 2019-05-28 [1] CRAN (R 3.5.2)
## fansi 0.4.0 2018-10-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## forcats * 0.4.0 2019-02-17 [1] CRAN (R 3.5.2)
## fs 1.3.1 2019-05-06 [1] CRAN (R 3.5.2)
## FSA 0.8.26 2019-11-22 [1] CRAN (R 3.5.2)
## generics 0.0.2 2018-11-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
```



```

## ggmap * 3.0.0 2019-02-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## ggplot2 * 3.2.1 2019-08-10 [1] CRAN (R 3.5.2)
## ggrepel * 0.8.1 2019-05-07 [1] CRAN (R 3.5.2)
## ggspatial * 1.0.3 2018-12-14 [1] CRAN (R 3.5.0)
## glue 1.3.1 2019-03-12 [1] CRAN (R 3.5.2)
## gridExtra * 2.3 2017-09-09 [1] CRAN (R 3.5.0)
## gtable 0.3.0 2019-03-25 [1] CRAN (R 3.5.2)
## haven 2.2.0 2019-11-08 [1] CRAN (R 3.5.2)
## highr 0.8 2019-03-20 [1] CRAN (R 3.5.2)
## hms 0.5.2 2019-10-30 [1] CRAN (R 3.5.2)
## httr 1.4.1 2019-08-05 [1] CRAN (R 3.5.2)
## jpeg 0.1-8.1 2019-10-24 [1] CRAN (R 3.5.2)
## jsonlite 1.6 2018-12-07 [1] CRAN (R 3.5.0)
## KernSmooth 2.23-16 2019-10-15 [1] CRAN (R 3.5.2)
## keyring 1.1.0 2018-07-16 [1] CRAN (R 3.5.0)
## knitr * 1.26 2019-11-12 [1] CRAN (R 3.5.2)
## lattice 0.20-38 2018-11-04 [1] CRAN (R 3.5.3)
## lazyeval 0.2.2 2019-03-15 [1] CRAN (R 3.5.2)
## lifecycle 0.1.0 2019-08-01 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 0.1.5 2019-08-08 [1] CRAN (R 3.5.2)
## munsell 0.5.0 2018-06-12 [1] CRAN (R 3.5.0)
## nlme 3.1-143 2019-12-10 [1] CRAN (R 3.5.2)
## openxlsx 4.1.4 2019-12-06 [1] CRAN (R 3.5.2)
## pillar 1.4.2 2019-06-29 [1] CRAN (R 3.5.2)
## pkgbuild 1.0.6 2019-10-09 [1] CRAN (R 3.5.2)
## pkgconfig 2.0.3 2019-09-22 [1] CRAN (R 3.5.2)
## pkgload 1.0.2 2018-10-29 [1] CRAN (R 3.5.0)
## plyr 1.8.5 2019-12-10 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 3.4.1 2019-07-18 [1] CRAN (R 3.5.2)
## ps 1.3.0 2018-12-21 [1] CRAN (R 3.5.0)
## purrr * 0.3.3 2019-10-18 [1] CRAN (R 3.5.2)
## R6 2.4.1 2019-11-12 [1] CRAN (R 3.5.2)
## Rcpp 1.0.3 2019-11-08 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 * 1.3.1 2019-03-13 [1] CRAN (R 3.5.2)
## remotes 2.1.0 2019-06-24 [1] CRAN (R 3.5.2)
## reprex 0.3.0 2019-05-16 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 1.4.5 2019-12-11 [1] CRAN (R 3.5.2)
## rJava 0.9-11 2019-03-29 [1] CRAN (R 3.5.2)
## rjson 0.2.20 2018-06-08 [1] CRAN (R 3.5.0)

```

```
## rlang 0.4.2 2019-11-23 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 2.1.4 2019-12-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## rstudioapi 0.10 2019-03-19 [1] CRAN (R 3.5.2)
## rvest 0.3.5 2019-11-08 [1] CRAN (R 3.5.2)
## scales * 1.1.0 2019-11-18 [1] CRAN (R 3.5.2)
## sessioninfo 1.1.1 2018-11-05 [1] CRAN (R 3.5.0)
## sf * 0.8-0 2019-09-17 [1] CRAN (R 3.5.2)
## stringi 1.4.3 2019-03-12 [1] CRAN (R 3.5.2)
## stringr * 1.4.0 2019-02-10 [1] CRAN (R 3.5.2)
## testthat 2.3.1 2019-12-01 [1] CRAN (R 3.5.2)
## tibble * 2.1.3 2019-06-06 [1] CRAN (R 3.5.2)
## tidyr * 1.0.0 2019-09-11 [1] CRAN (R 3.5.2)
## tidyselect 0.2.5 2018-10-11 [1] CRAN (R 3.5.0)
## tidyverse * 1.3.0 2019-11-21 [1] CRAN (R 3.5.2)
## units * 0.6-5 2019-10-08 [1] CRAN (R 3.5.2)
## usethis 1.5.1 2019-07-04 [1] CRAN (R 3.5.2)
## vctrs 0.2.0 2019-07-05 [1] CRAN (R 3.5.2)
## withr 2.1.2 2018-03-15 [1] CRAN (R 3.5.0)
## xfun 0.11 2019-11-12 [1] CRAN (R 3.5.2)
## 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 1.2.2 2019-08-09 [1] CRAN (R 3.5.2)
## xtable * 1.8-4 2019-04-21 [1] CRAN (R 3.5.2)
## zeallot 0.1.0 2018-01-28 [1] CRAN (R 3.5.0)
## zip 2.0.4 2019-09-01 [1] CRAN (R 3.5.2)
##
## [1] /Library/Frameworks/R.framework/Versions/3.5/Resources/library
```