

Année universitaire : 2020 - 2021

Spécialité :

SML - Biologie

Parcours (et option éventuelle) :

Sciences Halieutiques et Aquacoles (AQUA)

Mémoire de Fin d'Études

d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Les pratiques agroécologiques dans les étangs à vocation piscicole : approche comparative de trois scénarios de polyculture

Par : Jésabel LAITHIER



Soutenu à Rennes le 17 septembre 2021

Devant le jury composé de :

Président : Dominique OMBREDANE, Enseignant Chercheur Agrocampus Ouest

Maître de stage : Marielle THOMAS & Thomas LECOCQ, Enseignant-chercheur Université de Lorraine

Enseignant référent : Bastien SADOUL, Enseignant-Chercheur Agrocampus Ouest

Autre membre du jury : Aurélie WILFART, Ingénieure de recherche

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»

disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire



Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible (1)

Date et signature du maître de stage (2) : *Marielle Thomas*
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

UNIVERSITÉ DE LORRAINE - INRA
Faculté des Sciences et Technologies
Boulevard des Aiguillettes
BP 70239
54518 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY Cedex
Tél. : +33 (0)3 83 68 55 99
Fax : +33 (0)3 83 68 42 74
www.urafpa.fr

Droits d'auteur

L'auteur (3) **Laithier Jésabel**
autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement (4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd
(voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

Jésabel Laithier

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement (4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé la

diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

PO,

BS

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à mes maîtres de stages, Marielle Thomas et Thomas Lecocq, pour leurs conseils précieux et bien évidemment le temps qu'ils m'ont consacré. Merci pour leur supervision éclairée tout au long de ce stage et pour tout ce qu'ils ont pu m'apporter pendant ces six mois de stage. Je les remercie également pour la confiance qu'ils ont su m'accorder dès les premiers instants.

Je tiens ensuite à remercier Pascal Fontaine de m'avoir accueillie au sein de l'UR AFPA, à Alain Pasquet pour son aide avisée de tous les instants et aux enseignants-chercheurs de l'équipe DAC pour leurs conseils et précisions dans leur domaine d'expertise. Merci à Patricia pour son accompagnement tout au long de mon séjour à l'UR AFPA. Enfin, merci à Nellya et à son travail de thèse, qui m'a donné les clés pour réaliser ce stage.

J'aimerais aussi dire un grand merci à Colin Lutz pour son aide sur le terrain, surtout pour porter le bateau de la Bouzule et évidemment à Marielle, également pour son aide lors des prélèvements sur le terrain, mais aussi pour tous les moments partagés lors de nos longues heures de route jusqu'aux étangs.

Sans oublier mes collègues de bureau qui sont maintenant devenus mes amis. À Clémentine, la première personne avec qui je me suis réellement liée d'amitié, merci aussi à toi pour tes précieux conseils. À Alana, merci pour tous les fous-rires qu'on a pu partager ensemble. À Grégoire et Ayoub, pour ces débats argumentés tous les midis. À Gueric et Boris, des poulains et des tigeurs comme il y en a peu. À Tiphaine pour m'avoir fait découvrir un bout de Nancy depuis son bateau.

Enfin, à toutes les personnes incroyables que j'ai pu rencontrer à Nancy, elles se reconnaîtront. Merci.

Pour finir ces remerciements, je voudrais remercier le glucose d'exister et de me permettre de faire fonctionner mon cerveau tout en régaland mes papilles.

Liste des abréviations

AMTI : Aquaculture Multi – Trophique
Intégrée

BV : Bassin-Versant

CA : Chiffres d’Affaires

Chl : Chlorophylle a

COD : Carbone Organique Dissous

COT : Carbone Organique Total

DD : Degrés Décimaux

DO : Oxygène Dissous

GAEC : Groupement Agricole
d’Exploitation en Commun

IC : Indice de Compatibilité

IST : Indice Spatio-Temporel

IT : Indice Trophique

LT : Longueur Totale

NG : Azote Global

NTK : Azote Total Kjeldahl

PE : Pisciculture d’Etang

SEPURE : Nouvelles stratégies de
construction et de conduite de systèmes
de production en étang pour une
pisciculture durable

SIG : Système d’Information
Géographique

Liste des figures

Figure 1 : Schématisation synthétique du fonctionnement de l'agroécosystème.

Figure 2 : Représentation géographique du réseau hydrographique français où les 10 étangs du programme SEPURE sont localisés.

Figure 3 : Méthodologie de la délimitation du bassin-versant d'un étang.

Figure 4 : Schéma descriptif de la composition et du positionnement du datalogueur servant à enregistrer la température en continu.

Figure 5 : Bassin-versant de l'étang des Sœurs-grises avec l'occupation des sols de 2018-2019.

Figure 6 : Bassin-versant de l'étang de la Plume avec l'occupation des sols de 2018-2019.

Figure 7 : Bassin-versant de l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule avec l'occupation des sols de 2018-2019.

Figure 8 : Graphique du suivi temporel de la température de surface et de la température en profondeur dans les étangs lorrains.

Figure 9 : Suivi de la physico-chimie de l'eau des étangs du programme SEPURE.

Figure 10 : Suivi des ions nitrites et nitrates présents dans l'eau des étangs.

Figure 11 : Suivi des métaux – étude du calcium présents dans l'eau des étangs

Figure 12 : Paramètres mesurés dans les sédiments des étangs lorrains.

Figure 13 : Schéma du réseau trophique en place dans un étang à vocation piscicole.

Figure 14 : Tracé des proportions optimales entre P et N global dans l'eau des étangs.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des services écosystémiques d'après le Millennium Ecosystem Assessment.

Tableau 2 : Caractéristiques intrinsèques des 3 étangs de Lorraine.

Tableau 3 : Liste des différentes espèces utilisées pour les scénarios de polyculture selon le site d'étude.

Tableau 4 : Paramètres mesurés et analysés dans le compartiment eau des étangs d'intérêt.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données collectées lors des six campagnes de prélèvements sur le terrain.

Tableau 6 : Tableau des caractéristiques zootechniques (longueur totale et poids total) mesurées lors de l'empoissonnement des poissons dans les étangs.

Tableau 7 : Tableau détaillant la valeur de l'indice trophique (IT) et de l'indice spatio-temporel (IST) utilisé dans le calcul de l'indice de compatibilité (IC) pour les combinaisons d'espèces présente dans les étangs.

Tableau 8 : Calcul de la biomasse totale réelle introduite dans les étangs selon l'espèce de poisson.

Liste des annexes

Annexe 1 : Traits fonctionnels utilisés dans le calcul des indices de compatibilité via une méthode *in silico*.

Annexe 2 : Le calcul des indices de compatibilité à partir des traits fonctionnels.

Annexe 3 : Point de repère fixe relatif au suivi de la mesure d'eau dans les étangs.

Annexe 4 : Calendrier des suivis réalisés sur les étangs lorrains.

Annexe 5 : Point de prélèvement des différentes mesures prises lors des suivis sur le terrain.

Table des matières

I) Introduction.....	1
1. La situation de la pisciculture d'étang en France	1
2. Les rôles et services écosystémiques des étangs	2
3. De la monoculture à la polyculture	2
4. Le programme de recherche SEPURE.....	3
5. Les objectifs du stage.....	3
II) Matériels et méthodes.....	4
1. Critère de sélection des étangs	5
2. Caractérisation des sites d'études : les étangs.....	5
3. Caractérisation des sites d'études : les bassins-versants	6
3.1) La délimitation des bassins-versants	6
3.2) La modélisation : un outil d'aide à la prise de décision.....	6
4. Le matériel animal.....	7
4.1) Choix des espèces et calcul de l'indice de compatibilité	7
4.2) Provenance des poissons	8
5. Méthodes d'échantillonnages et de prélèvements	9
5.1) Mesures biologiques	9
5.2) Suivi hydrobiologique.....	9
6.3) Évolution de la qualité des eaux de l'étang.....	10
A) Suivi des paramètres physico-chimiques.....	10
B) Suivi de la transparence	11
C) Analyse de la concentration en nutriment et chlorophylle.....	11
6.4) Analyse du sédiment.....	11
6. Plan expérimental	12
7. Analyses statistiques	12
III) Résultats	12
1. Résultats de la délimitation du bassin-versant des étangs lorrains et de l'occupation des sols 12	
1.1) Étang des Sœurs-grises.....	12
1.2) Étang de la Plume.....	12
1.3) Étang de la ferme expérimentale de la Bouzule	14
2. Résultats des suivis lors des campagnes de prélèvements	15

2.1) Compartiment eau	15
A) Résultat du suivi hydrobiologique et de la qualité de l'eau	15
B) Résultats du suivi de la température mesurée en continue	17
C) Résultats de l'analyse de la concentration en nutriment et chlorophylle	19
1. La physico-chimie de l'eau	19
2. Suivi des ions nitrites et nitrates.....	21
3. Suivi des métaux – le calcium	22
2.2) Compartiment sédiment	23
3. Résultats de l'empoisonnement des étangs	24
IV) Discussion	27
1. Le milieu environnant de l'étang et son impact sur la qualité de l'eau.....	27
2. Impact de la qualité de l'eau sur la productivité des étangs à vocation piscicole	27
2.1) Comprendre le fonctionnement d'un étang	27
2.2) Les trois éléments essentiels pour une bonne productivité piscicole	29
A) Calcium	29
B) Phosphore	29
C) Azote	30
2.3) Le ratio P/N : un indicateur de la productivité des étangs	30
3. Comparaison des scénarios de polyculture	32
3.1) La productivité piscicole fonction de la productivité des étangs	32
3.2) L'indice de compatibilité est-il un bon indicateur ?	32
V) Conclusion	34
Bibliographie	35
Sitographie	37
Annexe 1 : Traits fonctionnels utilisés (en jaune) au travers d'une modélisation dans le calcul d'indice de compatibilité via une méthode <i>in silico</i>	I
Annexe 2 : Comment passe-t-on des traits fonctionnels aux indices de compatibilité ?.....	II
Annexe 3 : Photographies de chaque étangs (L01, L03 et L04) permettant de déterminer le point fixe où le suivi du niveau d'eau a été effectué. Ces mesures ont été prises au niveau de la digue à l'endroit pointé par la flèche rouge. ©Jésabel Laithier	VI
Annexe 4 : Calendrier des suivis réalisés sur les étangs lorrains.	VII
(code étang : L01, étang des Sœurs-grises ; L03, étang de la Plume ; L04, étang de la ferme expérimentale de la Bouzule). Plusieurs paramètres ont été mesurés en continu lors des prélèvements sur terrain, seulement certains d'entre eux ont pu être exploités durant ce stage. VII	
Annexe 5 : Point de prélèvement des différentes mesures prises lors des suivis sur le terrain selon chaque étang où L01 : étang des Sœurs-grises ; L03 : étang de la Plume et L04 : étang de la ferme	

expérimentale de la Bouzule. L'emplacement du suivi est indiqué même si les données n'ont pas été exploitées durant ce stage.IX

I) Introduction

Les années 60 marquent le début de l'augmentation de la consommation de poisson passant de 9 kg à plus de 20,2 kg par an et par individu en 2015. Cette consommation augmente drastiquement chaque année d'environ 1,5 % (FAO, 2018). Les produits aquatiques ont représenté 17 % des apports en protéines animales pour la population humaine mondiale durant l'année 2017. La demande mondiale a, quant à elle, augmenté de 3 % par an sur la période de 1961 à 2017, c'est plus que l'accroissement démographique (FAO, 2020). En réponse à cette demande toujours croissante, l'aquaculture se développe tandis que les captures en mer au travers de la pêche stagnent depuis les années 80. Aujourd'hui, l'aquaculture contribue à plus de 50 % des poissons, des crustacés et mollusques consommés par l'Homme (Bostock *et al.*, 2010). En effet, l'aquaculture est passée d'une source alimentaire presque insignifiante avant les années 80, quand la pêche suffisait, à une source de produits de la mer incontournable pour la consommation humaine, dépassant même la pêche sauvage en 2015 (Garlock *et al.*, 2020). L'aquaculture est devenue un facteur clé de la sécurité alimentaire humaine. En outre, l'essor de l'élevage d'espèces aquatiques a d'abord permis le maintien puis a permis l'augmentation de la consommation mondiale de poisson *per capita* en dépit de l'expansion de la population mondiale (Smith *et al.*, 2010 ; Naylor *et al.*, 2021) qui devrait atteindre les 9,7 milliards d'habitants d'ici à 2050. Cependant, le secteur fait face à des défis persistants : les pathogènes, les parasites et ravageurs, la pollution, mais aussi les blooms d'algues sans oublier le changement climatique. D'après Naylor *et al.* (2021), l'aquaculture est devenue de plus en plus vulnérable à ces facteurs de stress en raison de son expansion très rapide, de sa dépendance à l'égard du milieu environnant et de l'évolution du monde dans lequel les systèmes alimentaires fonctionnent.

Dans ce présent mémoire, le terme "poisson" sera couramment employé pour définir la classe des Actinopterygii. De plus, la définition d'un "étang" désigne un plan d'eau lentique continental à vocation piscicole qui forme un agroécosystème dont la topographie et la faible profondeur ne permettent pas une stratification thermique et où la profondeur typique est inférieure à 3 mètres (définition modifiée de Touchart *et al.*, (2007) et de Aubin *et al.*, (2017)).

1. La situation de la pisciculture d'étang en France

Activité traditionnelle en France, la pisciculture d'étang (PE) est apparue en France dès le Moyen-Âge (Pellegrin, 1941) et n'a que très peu évoluée. Cette activité repose aujourd'hui sur des méthodes ancestrales, un savoir-faire d'antan plutôt que sur une véritable « recherche d'optimisation du système d'élevage » selon Adam (2013). Comparativement à certains pays asiatiques comme la Chine ou l'Indonésie, la production française en PE reste dérisoire et atteint aujourd'hui une production de 8 000 tonnes (MAA, 2017). Malgré un réseau hydrographique extrêmement important et donc un fort potentiel pour son développement, la PE fait face à des difficultés préoccupantes. En effet, depuis une vingtaine d'année la PE française enregistre des pertes économiques considérables avec une importante perte de la production (*cf.* 20 000 tonnes en 2005 (FAO, 2005)). La déprise piscicole est accélérée par la prédation des cormorans sur les poissons produits dans les étangs (Broyer *et al.*, 2018). Cette déprise a conduit à l'arrêt des activités piscicoles en Sologne et en Camargue et se sont maintenant les étangs dans les autres régions à fort potentiel de production qui sont menacés (MAA, 2017).

La richesse de l'habitat et des différentes espèces qui vivent dans cet écosystème étang est primordial pour la conservation de la biodiversité (Vanacker *et al.*, 2015). Les étangs ont un rôle très important dans le maintien de la diversité des espèces et cette déprise pourrait impacter les différents services écosystémiques, bénéfiques dérivés des écosystèmes par les humains (Blayac *et al.*, 2014).

2. Les rôles et services écosystémiques des étangs

Les étangs n'ont pas qu'un rôle de production piscicole, ils apportent bien plus à l'Homme. En parallèle de cette production piscicole, l'aménagement des étangs ont un rôle qui « permettait alors de bonifier des espaces jugés médiocres (sols argilo-marneux lourds et difficiles à travailler, zones humides, landes et marais) » selon Mathis et Mathis (2016). Définis par le Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) comme étant les bénéfices que la société tire des écosystèmes, les services écosystémiques fournis par les étangs sont nombreux. Bien détaillés dans le programme de recherche SERVIPOND, les différents services écosystémiques peuvent être catégorisés. À titre indicatif, deux exemples de services écosystémiques fournis par les étangs sont donnés pour chacune des catégories et présentés dans le *Tableau 1*. Ces exemples sont tirés des travaux de Blayac *et al.* (2014) et illustre bien la diversité des services écosystémiques rendue par les étangs.

Tableau 1 : Classification des services écosystémiques par le Millennium Ecosystem Assessment où deux exemples sont donnés pour illustrer l'utilité des écosystèmes étangs pour l'Homme.

Catégories de services écosystémiques	Exemple 1	Exemple 2
Service de support	Zones de frai et de reproduction des animaux et des plantes aquatiques	Conservation de la biodiversité
Service de régulation	Rétention de la pollution et dépollution	Régulation de l'eau avec la reconstitution des eaux souterraines
Service d'approvisionnement	Production piscicole	Réservoir d'eau douce
Service culturel	Tourisme et écotourisme	Sensibilisation à l'environnement

3. De la monoculture à la polyculture

La production piscicole est un des nombreux services d'approvisionnement que peut fournir un étang. Différentes méthodes de production sont employées dépendamment de l'objectif final, du milieu ou bien des modalités de production et d'exploitation. Le choix du mode de production impacte différenciellement le milieu environnant. Des méthodes de productions intensives comme la monoculture ont entraîné des problèmes socio-économiques et environnementaux majeurs (Chuenpagdee *et al.*, 2005). Par exemple, la monoculture intensive basée sur un petit nombre d'espèces a souvent un impact environnemental négatif important, une faible capacité de résistance à la concurrence et aux attaques de maladies et/ou parasites, et enfin un faible potentiel d'adaptation aux changements des contextes environnementaux et socio-économiques (Aubin *et al.*, 2017 ; Neori *et al.*, 2017). Certains de ces inconvénients peuvent être évités par une autre méthode d'élevage : la polyculture. Le principe même de cette méthode d'élevage dans les systèmes étangs se définit comme l'association de plusieurs espèces de poissons dans un même plan d'eau afin d'occuper les différentes niches écologiques de l'écosystème et de valoriser au

mieux la production naturelle du milieu aquatique (Billard, 1980). D'après (Thomas *et al.*, 2020), ces espèces en association dans un même biotope doivent limiter la compétition comme mode d'interaction. En polyculture, l'importance de la compatibilité des espèces (qui peuvent vivre dans le même environnement sans interactions nuisibles) et de la complémentarité des espèces (l'utilisation complémentaire des ressources disponibles et/ou le commensalisme et le mutualisme) est soulignée pour atteindre une aquaculture efficace, durable et éthique (Thomas *et al.*, 2020). En somme, cela revient à répartir le flux énergétique sur plusieurs espèces facilement exploitables par l'Homme (Billard, 1980). Ce système a été conçu originellement en Chine à partir d'espèces de carpes puis a été développé et adapté dans différents pays en utilisant un panel plus large d'espèces. Une des voies les plus prometteuses en matière d'évolution des systèmes aquacoles (Jaeger *et al.*, 2021), la polyculture contribue à la résilience du système de production, améliore l'utilisation des intrants agricoles et diminue la quantité de déchets grâce au recyclage des coproduits d'une espèce par une autre lorsqu'elles sont élevées en commun (Chopin *et al.*, 2008 ; Thomas *et al.*, 2020). La polyculture, système de production complexe (FAO, 1978) confère ces avantages si et seulement si une combinaison pertinente d'espèces est utilisée.

4. Le programme de recherche SEPURE

Le programme intitulé « Nouvelles stratégies de construction et de conduite de systèmes de production en étang pour une pisciculture durable » (titre court : SEPURE) s'inscrit dans un objectif d'amélioration de la productivité globale du système à des fins piscicoles tout en conciliant une meilleure insertion environnementale au niveau des services écosystémiques et de la diversité des compartiments biologiques. L'utilisation des étangs à vocation piscicole a évolué depuis plusieurs décennies passant de la pisciculture à des activités plus récréatives comme la pêche ou d'autres loisirs (Jaeger *et al.*, 2021). Dans certains cas, les étangs sont complètement abandonnés voire asséchés, c'est la déprise. En plus d'induire une modification du paysage, les services écosystémiques fournis par les étangs ne sont plus effectifs et entraînent une perte de biodiversité. Avec l'abandon de l'activité piscicole, les étangs font peser un vrai risque sur l'environnement en devenant un lieu de nuisances en tout genre (prolifération d'espèces nuisibles voire indésirables, flux de matière organique vers le milieu récepteur). Il est nécessaire d'inverser cette tendance et de restaurer la productivité et la rentabilité de nos étangs français. En ce sens, l'objectif est de proposer des scénarios de polyculture innovants et économiquement rentables pour les gestionnaires pour lutter contre la déprise piscicole. En effet, de nombreuses associations d'espèces restent encore à découvrir tout en privilégiant les espèces à haute valeur commerciale (Billard, 1990). Pour parvenir à ces objectifs d'une aquaculture durable et efficace, sept partenaires scientifiques et des pisciculteurs volontaires travaillent en collaboration sur 11 étangs piscicoles dans les trois régions françaises au plus haut potentiel piscicole : Centre-Val de Loire, Auvergne-Rhône-Alpes et dans le Grand-Est.

5. Les objectifs du stage

Un agroécosystème est composé de deux volets bien distincts : le système écologique, c'est-à-dire les ressources naturelles et le système socio-économique qui comprend les ressources externes, le travail et le capital. C'est la jonction entre ces deux systèmes qui forme l'agroécosystème. Il est lui-même constitué de la composante biotique et de la composante abiotique. Les pratiques piscicoles que peuvent avoir les gérants des étangs comme par

exemple l'apport de nourriture, l'amplitude de marnage ou le temps de mise en assec peuvent faire pression tel un levier sur l'agroécosystème.

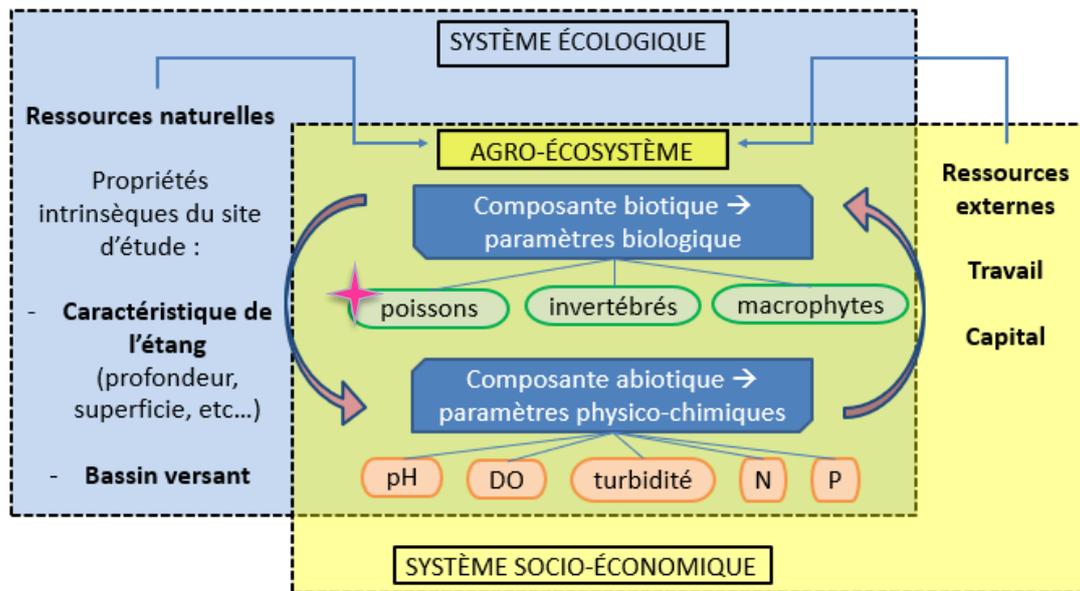


Figure 1 : Schématisation synthétique du fonctionnement de l'agroécosystème. La composante biotique est en interaction avec la composante abiotique et est représentée par les flèches violettes. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont le pH, l'oxygène dissous (DO), la turbidité, l'azote (N) et le phosphore (P). Les paramètres biologiques sont les invertébrés, les macrophytes et les poissons. Ces derniers peuvent être un levier important dans le système au travers de pratiques d'empoissonnement nouvelles et sont représentés par un pictogramme de couleur rose. Schéma tiré et adapté de Conway (1987).

Une autre pratique agroécologique qui est un levier important sur l'agroécosystème se base sur les pratiques d'empoissonnement, et notamment sur la combinaison de différentes espèces. A travers ces scénarios de polyculture, l'intérêt est de redonner un coup d'éclat à la filière pisciculture d'étang pour lutter contre la déprise et maintenir les nombreux services écosystémiques que fournissent les étangs à l'Homme.

L'objectif initial est de comparer trois étangs tant au niveau des paramètres physico-chimiques que biologique sur la base du choix des espèces de poisson introduites en polyculture. Ce stage vise donc à réaliser une étude comparative des trois systèmes de production en étangs selon une pratique de gestion comme l'empoissonnement. Les objectifs de ce stage sont donc multiples. Dans un premier temps, une description du site d'étude a été nécessaire pour appréhender la situation géographique et hydrologique de nos étangs. Ensuite, un suivi des matrices environnementales et biologiques a été mis en place, le but étant de comprendre comment les différents paramètres décrits *Figure 1* évoluent et peuvent influencer l'agroécosystème étang au travers d'une pratique de gestion comme le choix de l'association entre plusieurs espèces en polyculture.

II) Matériels et méthodes

Seront détaillés ici l'agroécosystème, les critères sur lesquels les étangs du programme SEPURE ont été sélectionnés, puis les caractéristiques des étangs et de leur bassin versant. En parallèle, les pratiques intrinsèques de chaque gérant seront décrites. Enfin, le suivi des matrices environnementales et biologiques aura lieu en détaillant les prélèvements.

1. Critère de sélection des étangs

Le choix des étangs a été réalisé en collaboration avec les partenaires du programme de recherche SEPURE selon plusieurs facteurs. Les gestionnaires (propriétaires et pisciculteurs) détenant un ou des étang(s) se sont tout d'abord manifestés comme étant intéressés pour participer à l'étude à la suite d'une enquête nationale, toutes les possibilités étant envisagées. À la suite de leur manifestation, l'enquête s'est poursuivie avec un questionnaire qui leur a été fourni dans le but de comparer l'environnement et la morphologie des sites, leurs pratiques de gestion et d'élevage tout en tenant compte de leurs attentes. Après concertation entre les scientifiques, des étangs ont été sélectionnés dans un sens purement pratique, c'est-à-dire en fonction des caractéristiques de l'étang souhaitées par les scientifiques. Les critères de sélection des étangs ont été les suivants : fond de pêche vide, avantages et inconvénients des sites (en termes de surface, de profondeur et de végétation), l'expérience propre des gestionnaires, leurs souhaits pour les nouveaux scénarios. À la suite de cette enquête, 10 étangs ont été retenus pour participer au programme SEPURE (Figure 2).

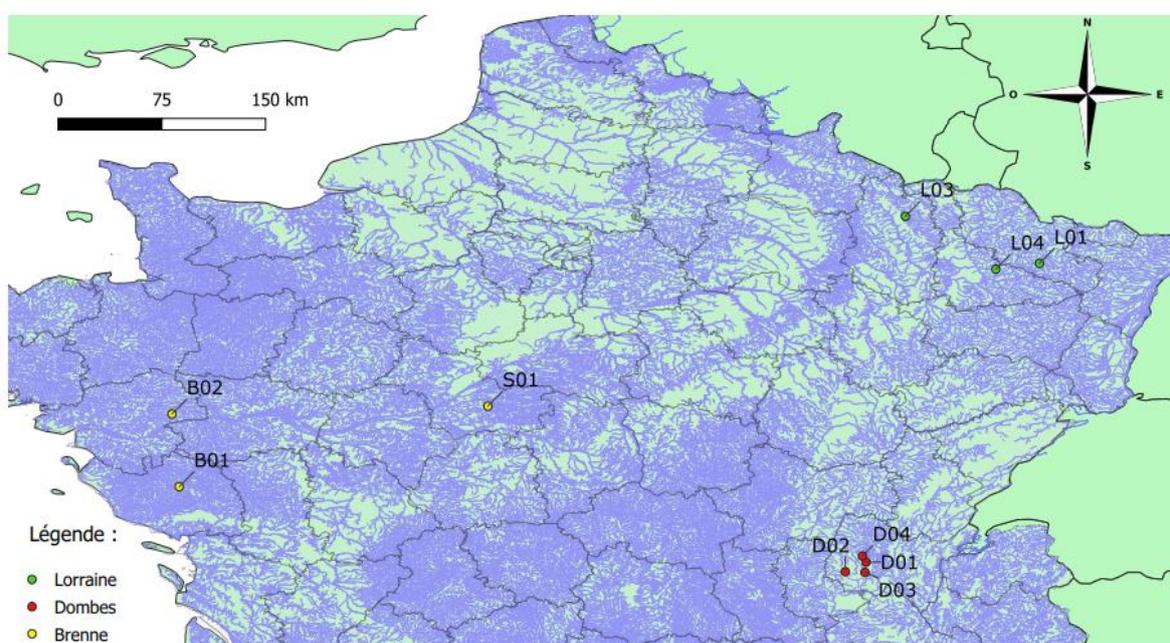


Figure 2 : Représentation géographique du réseau hydrographique français où la localisation des 10 étangs du programme de recherche SEPURE est représentée. Les points jaunes représentent les étangs en Brenne (B01, B02) et de Sologne (S01), les points rouges les étangs dans la Dombes (D01, D02, D03 et D04) tandis que les points verts représentent les étangs en Lorraine (L01, L03 et L04). Carte réalisée avec le logiciel QGIS 3.18.

2. Caractérisation des sites d'études : les étangs

Dans la région du Grand-Est, deux étangs ont été sélectionnés pour le programme de recherche : les étangs des Sœurs-grises et de la Plume. L'étang de la ferme expérimental INRAE de la Bouzule a été intégré afin de tester des scénarios d'association d'espèces dites « à risque » où les retombées économiques, qui seront moindres dans ce cas-là, n'impactent pas directement les pisciculteurs. Il est préférable de tester ce type de scénario dans un étang dont le rôle initial est de laisser aux scientifiques la possibilité d'expérimenter *in situ*. Finalement, les trois étangs ont été étudiés de façon plus précise afin d'en extraire les paramètres d'intérêt pour la caractérisation des sites (Tableau 2). Ces éléments ont été

mentionnés par les gérants des différents étangs lors de l'enquête préliminaire. Lorsqu'ils n'étaient pas précisés dans le questionnaire, certaines données du type surface et périmètre de l'étang ont été récupérées grâce à l'outil Géoportail.

Nom de l'étang	Sœurs-grises	Plume	Bouzule
Code de l'étang	L01	L03	L04
Coordonnées GPS (DD)	48.7908889, 6.7230556	49.2192089, 5.4870135	48.738432, 6.321161
Profondeur max (m)	1,75	3,2	1,75
Superficie (ha)	1,46	4,16	2,13

Tableau 2 : Caractéristiques intrinsèques des 3 étangs dans la région du Grand-Est. Les codes étangs, les coordonnées GPS en degrés décimaux (DD), la profondeur et la superficie respectivement en mètres (m) et hectares (ha) y sont décrits.

3. Caractérisation des sites d'études : les bassins-versants

Il est important de caractériser ces trois sites d'études selon d'autres critères. Pour cause, l'environnement dans lequel s'inscrit l'étang est d'une grande importance puisque c'est celui-ci qui détermine la qualité de l'eau ainsi que les paramètres hydro-morphologiques. Pour ce faire, le bassin versant (BV) a lui aussi été décrit en prenant en compte : sa superficie, l'occupation des sols et l'alimentation en eau, c'est-à-dire les sources.

3.1) La délimitation des bassins-versants

Dans notre cas, la délimitation du BV d'un étang est différente de la délimitation du BV d'un cours d'eau. Ici, les lignes de crêtes et les isolignes d'altitude ont exclusivement été utilisées pour délimiter le BV. Dans la région d'étude, le bassin Rhin-Meuse est composé de trois bassins : le bassin de la Meuse, le bassin de la Moselle et le bassin du Rhin, ceux-ci sont eux-mêmes composés d'une multitude de sous-bassins. Afin de décrire le BV dont les étangs dépendent, des représentations graphiques à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) ont été réalisées. Géoportail, le portail Web de la connaissance du territoire français, permettant la visualisation de données géographiques de référence a été utilisé comme point de départ du travail de représentation graphique. En effet, le fond de carte Corine Land Cover de 2012 et la carte IGN classique ont été utilisés comme base, puis les couches (ou "shapefile") des cours d'eau de 2021, du registre parcellaire graphique de 2019 ont été ajoutées. Le but étant de lier les sources d'eau, les types de cultures et donc l'occupation des sols du BV à une carte géographique où l'étang en question est représenté.

3.2) La modélisation : un outil d'aide à la prise de décision

À partir des coordonnées GPS des étangs et donc de leur localisation, les images satellites correspondantes ont été téléchargées sur le site Earthdata de la NASA (<https://earthdata.nasa.gov/>). Ces images sont des modèles numériques de terrain et sont utilisées afin d'en extraire le relief et ainsi les isolignes d'altitude (ou lignes topographiques) et d'en extrapoler ensuite les courbes de niveau. Ces courbes de niveaux sont très importantes puisqu'elles apportent une information indispensable pour délimiter le BV de l'étang. Cependant, il est difficile de visualiser correctement l'écoulement de l'eau des lignes de crêtes jusqu'à l'exutoire que représente l'étang. Il a été nécessaire de réaliser un modèle en 3D pour mieux comprendre le chemin que parcourt l'eau qui alimente l'étang.

Dans un premier temps, les couches nécessaires mentionnées précédemment ont été chargées dans le logiciel QGIS 3.18. À partir de cette représentation graphique, le modèle 3D a été construit avec l'extension « qgis2threejs » où les différences de niveau entre les isolignes d'altitude ont été exagérés dix fois pour mieux visualiser les lignes de crêtes (Figure 3.A.). La modélisation 3D n'a comme but principal que d'aider à tracer le contour du BV. En effet, une fois que le tracé du BV a été réalisé à partir de la modélisation 3D, le contour a été reporté sur une carte en deux dimensions (Figure 3.B.). Ce travail a été réalisé pour chacun des trois étangs dans le Grand-Est.

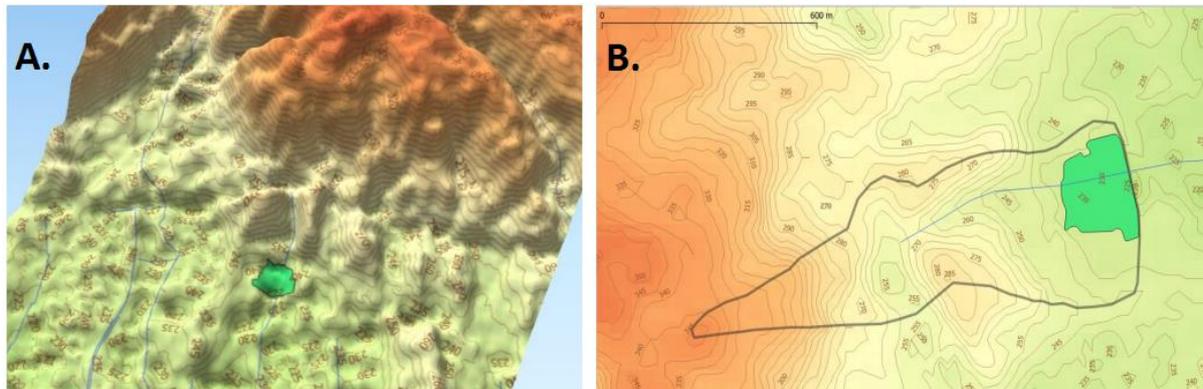


Figure 3 : Méthodologie de la délimitation du bassin-versant d'un étang avec le logiciel QGIS. **A** : Modélisation 3D avec une exagération fois dix utilisée dans l'aide à la prise de décision de la délimitation du bassin-versant. **B** : Représentation 2D de l'étang avec la délimitation du bassin-versant effectuée.

4. Le matériel animal

4.1) Choix des espèces et calcul de l'indice de compatibilité

Dans le but d'appliquer les différents scénarios de polyculture, une étape préliminaire a consisté à établir des scénarios d'élevage de poissons différents pour chaque étang. Ces scénarios ont été définis sur la base de l'expertise des scientifiques d'une part et des pisciculteurs d'une autre part, et ce couplée à des approches d'écologie fonctionnelle. Pour ce faire, une méthode prospective basée sur l'analyse trait-environnement pour une cinquantaine d'espèces a été utilisée afin d'établir les associations d'espèces. Cette méthode a consisté en une modélisation des différentes combinaisons d'espèces en donnant une note sur leur compatibilité. Appelé indice de compatibilité (IC), cet indice basé sur la niche trophique des espèces a été calculé en faisant la moyenne de l'indice trophique (IT, lié au régime alimentaire de l'espèce) et de l'indice spatio-temporel (IST, lié à la dynamique spatiale de l'espèce et de son activité). Cette simulation s'est appuyée sur une multitude de paramètres, notamment les caractéristiques comportementales, morphologiques, phénologiques et physiologiques des différentes espèces de poissons, mais aussi sur les caractéristiques environnementales. Les scénarios ont été construits à partir de la méta-base de données Traits OF Fish (TOFF) (Lecocq *et al.*, 2019), cet outil est utilisé pour extraire les informations sur la compatibilité et la complémentarité des espèces piscicoles. En effet, cette base de données recense une multitude de traits fonctionnels d'une espèce de poisson à un stade de vie précis et ce dans l'environnement du poisson. Les traits fonctionnels utilisés pour effectuer ces modélisations sont présentés en *Annexe 1* et la méthodologie détaillée du calcul des IC est présenté en *Annexe 2*. La sélection de ces traits s'est faite en fonction de différents paramètres. Une première étape a consisté à éliminer les traits qui communiquent des

informations redondantes ainsi que les traits proxy les uns des autres. Une fois les traits sélectionnés, des modélisations ont été effectuées pour attribuer des IC à un assemblage d'espèces. À la suite de ces modélisations, les scénarios de polyculture ont été créés pour chacun des étangs et sont représentés dans le *Tableau 3*. Les scénarios initialement prévus n'ont pas pu être toujours respectés. En effet, les démarches administratives pour introduire certaines espèces de poissons sont longues et fastidieuses (par exemple l'esturgeon). De plus, la disponibilité du poisson sur le territoire est aussi un facteur déterminant dans la faisabilité de ces scénarios de polyculture. Un des objectifs d'introduire ces polycultures dans les étangs est de tester en condition réelle les calculs d'IC basés sur TOFF.

Tableau 3 : Liste des différentes espèces utilisées pour les scénarios de polyculture selon le site d'étude où J correspond aux juvéniles et A aux adultes.

Étang	Sœurs – grises	Plume	Bouzule
Code étang	L01	L03	L04
Nombre d'espèce	3	3	3
Espèces	Gardon A Carpe commune J Tanche A	Gardon A Carpe commune A Carpe amour A	Gardon A Rotengle A Sandre A

Les espèces utilisées pour tester les différents scénarios de polyculture sont :

- Gardon (*Rutilus rutilus*) pour les trois étangs du Grand-Est
- Carpe commune (*Cyprinus carpio*) pour L01 et L03
- Tanche (*Tinca tinca*) pour L01 exclusivement
- Carpe amour (*Ctenopharyngodon idella*) pour L03 exclusivement
- Rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*) pour L04 exclusivement
- Sandre (*Sander lucioperca*) pour L04 exclusivement

4.2) Provenance des poissons

Dans le but de réaliser ces différents scénarios, il a fallu s'approvisionner en poisson, de l'espèce et du stade de vie concerné. Dans cet objectif précis, l'approvisionnement s'est fait au maximum en collaboration avec des pisciculteurs lorrains, voire français.

L'étang des Sœurs-grises situé dans Lindre-Basse a été empoissonné en tanche, gardon et carpe commune provenant du groupement agricole d'exploitation en commun (GAEC) Piscicole du Saulnois à Gelucourt (57260). Il s'agit ici d'un auto-approvisionnement puisque le pisciculteur Alain L'Huillier fournissant les poissons est aussi le gérant de l'étang L01. Localisé à Damloup (55400) proche de Verdun, l'étang de la Plume (L03) a été empoissonné avec gardon, carpe commune et carpe amour provenant de régions différentes en France. L'alevinage des gardons a été possible grâce à l'apport de la pisciculture Beaume située à Chauv (90330) qui joue un rôle d'élevage de poissons d'eau douce. De façon similaire à l'étang des Sœurs-grises, l'étang de la Bouzule (L04) à Laneuvelotte (54280) est lui aussi géré par Alain L'Huillier. Les poissons provenaient donc de la GAEC Piscicole du Saulnois et ont été préalablement triés et la biomasse piscicole totale a été définie pour les trois espèces. Un tri minutieux a été effectué pour les gardons et les rotengles car ils peuvent être facilement confondus avec leur morphologie très similaire.

5. Méthodes d'échantillonnages et de prélèvements

La totalité des mesures relevées lors des prélèvements ont été enregistrées et stockées dans un tableur Excel. Ces fichiers ont été mis à disposition dans un espace partagé pour tous les partenaires du programme de recherche SEPURE dans le but d'être analysés.

5.1) Mesures biologiques

Plusieurs composantes biotiques ont été analysées dans le cadre du programme SEPURE. Cependant, seuls les résultats de la biométrie des poissons sont disponibles et exploitables dans le cadre de ce stage. Ainsi, seule la méthode liée à la biométrie des poissons est décrite ci-dessous.

La biomasse des poissons introduits dans chaque étang a été pesée sur le site d'étude ou au préalable par les pisciculteurs. Le but étant de connaître la biomasse piscicole totale réelle qui se trouve dans les étangs. En parallèle, un échantillon de la population de poissons introduits dans l'étang a subi différentes mesures morphologiques dans le but de suivre l'évolution de ces paramètres entre le début et la fin de l'expérience.

Les relevés de taille et de poids de chacune des espèces et stades de vie physiologique qui composent nos cheptels ont été indispensables dans le but d'établir les performances de croissance des poissons selon le scénario testé. Les biométries ont été réalisées à l'empoissonnement (ou alevinage) c'est-à-dire lors de l'introduction de la biomasse piscicole dans les étangs et devront être reconduites lors de la pêche d'étang. Pour chaque espèce, un échantillon de $n = 100$ individus a été mesuré et pesé afin de construire les matrices de données de l'évolution en taille et en poids des poissons.

Lors de leur arrivée sur le site d'empoissonnement, 100 poissons d'une même espèce ont été isolés de façon stochastique dans un bac de stockage contenant environ 50 L d'eau. Pour les manipuler, les poissons ont été anesthésiés avec de la Tricaine pure à 98 % (Sigma-Aldrich, Lot #WXBB5166V) à hauteur de 30 à 150 mg/L dépendamment de l'espèce et sont restés dans le bain anesthésiant moins de 15 minutes. Durant cette étape, la concentration en oxygène a été surveillée à l'aide d'un oxymètre. Lorsque les poissons se sont immobilisés dans le bac d'anesthésie, les mesures ont pu débuter. Les mesures de taille ont été faites à la longueur totale (LT) et ont été réalisées avec un ichtyomètre de 30 cm (précis au mm) ou avec un mètre de couture pour les plus gros individus. Par la suite, les individus ont été pesés grâce à une balance (précise à 0,1 g près). Une fois les mesures prises, les poissons ont été placés dans un bac de réveil où l'eau y est bien oxygénée. Finalement, les poissons ont été relâchés dans l'étang. À la fin des manipulations, le matériel et les outils de mesure ont été désinfectés dans le but de limiter voire d'éviter toute contamination entre les sites d'études.

5.2) Suivi hydrobiologique

Le relevé du niveau de l'eau de l'étang a quant à lui été mesuré à chaque sortie sur le terrain, notamment au moment de l'empoissonnement et lors des prélèvements d'eau. Cette mesure a été prise au même endroit de l'étang tout le long des prélèvements. L'endroit a été sélectionné de façon à être facile d'accès et pratique (*Annexe 3*). Les points de repères ont donc été identifiés et photographiés dans le but d'exécuter la mesure et sont restés fixe durant la totalité du suivi.

Ces informations ont permis de mesurer la variation du niveau de l'étang au cours du temps.

6.3) Évolution de la qualité des eaux de l'étang

A) Suivi des paramètres physico-chimiques

La sonde multiparamètre de type ODÉON (Aqualabo™) est un équipement portable de terrain pour la mesure et l'enregistrement des paramètres dans le cadre d'un suivi de la qualité des eaux. Cet outil a été utilisé pour mesurer plusieurs paramètres comme la température de l'eau, la conductivité, le pH ainsi que le DO. Les mesures ont été réalisées sous la surface de l'eau à une hauteur comprise entre 10 à 20 cm au même point de repère que les mesures du niveau d'eau. En raison de problèmes logistiques, les trois étangs n'ont pas pu être mesurés en même temps. Cependant, les mesures ont été réalisées dans la même tranche horaire ce qui augmente la robustesse de nos mesures. Les prélèvements ont été effectués à six reprises : des relevés bimensuels ont eu lieu durant les mois de mai, juin et juillet.

Dans le but d'effectuer un suivi plus précis de la température, facteur influençant un grand nombre de paramètres, des mesures ont été réalisées en continu à raison d'une mesure toutes les 15 minutes grâce à un dispositif d'enregistreurs appelés datalogueur. Un capteur UA-002-64 (HOBO Pendant®) a été disposé à 10-20 cm sous la surface de l'étang tandis qu'un autre a été placé à 10-20 cm du fond de l'étang.

Dépendamment de sa position dans la colonne d'eau, des poids ou des flotteurs seront installés sur le câble reliant le capteur, respectivement le capteur proche de la surface et le capteur proche du fond de l'étang (Figure 4).

Pour repérer le dispositif, mais aussi pour assurer le maintien du capteur de surface auquel des poids ont été ajoutés, une bouée de type polyforme pare-battage a été utilisée. Le dispositif a été installé le premier jour de la campagne de mesure là où l'étang est le plus profond. Les données enregistrées par les capteurs ont été collectées grâce à la station BASE-U-4 (HOBO®).

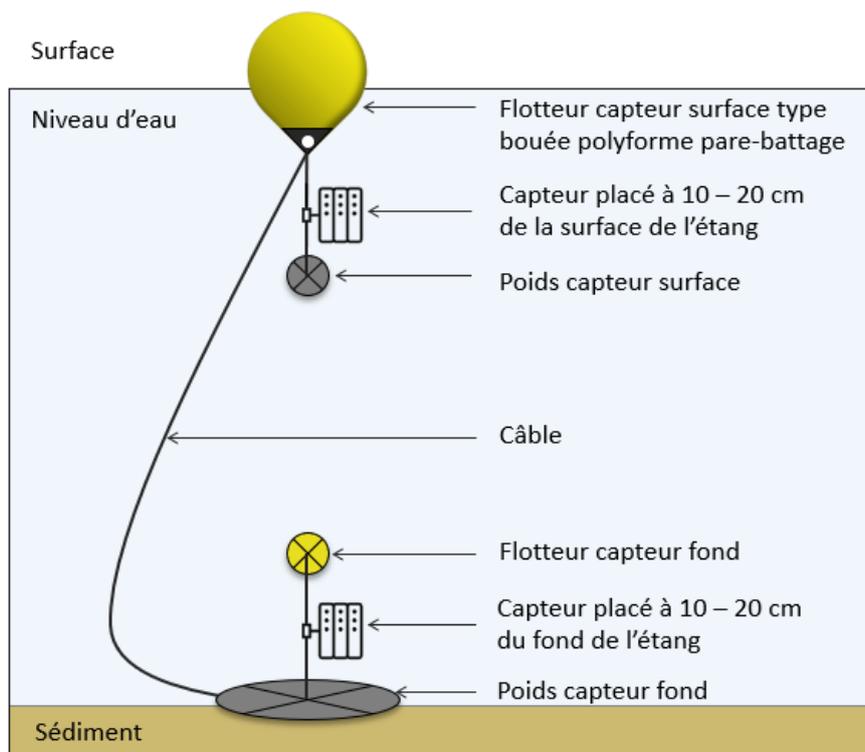


Figure 4 : Schéma descriptif de la composition et du positionnement du datalogueur servant à enregistrer la température en continu. Les composants jaunes illustrent les flotteurs tandis que les composants grisés représentent les poids.

B) Suivi de la transparence

La transparence de l'étang a été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi d'un diamètre égal à 20 cm. Le disque a été immergé dans la zone de l'étang où la profondeur est maximale (à proximité de la mesure de la hauteur d'eau) grâce à une corde graduée au centimètre près. Le dispositif a été immergé jusqu'à temps que la différence entre les zones blanches et noires soit nulle. La mesure de la profondeur a ensuite été enregistrée. Le suivi de la transparence a été effectué aux mêmes dates que le suivi des paramètres physico-chimiques.

C) Analyse de la concentration en nutriment et chlorophylle

Différents paramètres ont été analysés pour avoir une vision globale de la quantité de nutriments présente dans l'étang et sont représentés dans le *Tableau 4*.

Tableau 4 : Paramètres mesurés et analysés dans le compartiment eau des étangs d'intérêt. La première colonne à gauche illustre les grandes catégories des paramètres analysés. Les différents paramètres sont codifiés et sont mentionnés entre parenthèses.

Physico - chimie	Azote total Kjeldahl (ATK)	Azote global (NG)	Carbone organique dissous (COD)	Carbone organique total (COT)	Phosphore (P)	Orthophosphates (PO4)	Silicates solubles (en SiO2)	Chlorophylle a (Chl)
Anions	Nitrites (quantifié par calcul) (ICDSW)	Nitrates (quantifié par calcul) (ICSL8)	Nitrites (quantifié par spectrophotométrie) (IC4YI)	Nitrates (quantifié par spectrophotométrie) (IC4YJ)				
Métaux	Calcium (Ca)							

Pour quantifier ces paramètres, une Colonne Von Dorn a été utilisée pour prélever 2 L d'eau de surface au-dessus de l'endroit le plus profond de l'étang. Le volume prélevé a été divisé en deux : 1 L est filtré à 0,45 µm pour les mesures de nutriment puis l'échantillon a été stabilisé avec de l'acide sulfurique à 26 % alors que le 1 L restant a été laissé brut pour les analyses de chlorophylle a, de COT et de COD. Les deux moitiés du prélèvement ont été mises dans des bouteilles de conditionnement remplies à ras bord pour éviter les bulles d'air qui pourraient biaiser les analyses et ont été ensuite conservées à l'obscurité et au frais dans les glacières. Les échantillons ont été expédiés dans des colis isothermes sous 2 jours à un laboratoire d'analyses compétent pour ce genre de mesures (EUROFINS). De la même façon que le suivi de la transparence et du suivi des paramètres physico-chimiques, la concentration en nutriment et en chlorophylle a été mesurée à six dates différentes.

6.4) Analyse du sédiment

Deux prélèvements de sédiments ont été effectués à la même date que le premier et le dernier prélèvement d'eau. Ces analyses ont été possible grâce à une benne Ekman sur les 8 premiers centimètres du benthos et ont été répétées quatre fois dans des zones de l'étang où les profondeurs sont différentes. Espacés d'une dizaine de mètres, les trois prélèvements ont été placés dans un seau puis mélangés avant d'être conditionnés dans des sachets

numérotés. Les échantillons ont ensuite été mis au frais puis expédiés sous 24 heures par colis isotherme à l'ISARA de Lyon.

Plusieurs paramètres et nutriments ont été analysés dans le compartiment sédiment :

pH de l'eau	Matière organique totale	Azote total	C / N
Carbone	Carbonates	CaO	P2O5

Certains de ces paramètres ont déjà été analysés grâce aux prélèvements de la concentration en nutriment mais n'ont pas été prélevés dans le même compartiment, ce qui donne toute son importance aux analyses de sédiment.

6. Plan expérimental

Les analyses ont été réalisées selon un planning précis résultant de l'organisation des prélèvements sur le terrain. Le calendrier des divers suivis est présenté *Annexe 4*.

Les mesures ont été faites au même endroit de l'étang d'une campagne de prélèvement à l'autre par souci de répétabilité et de fiabilité des résultats. Les points de prélèvements sont illustrés sur des photographies satellites des étangs en *Annexe 5*.

7. Analyses statistiques

Certaines des données obtenues ont été analysées à l'aide d'un logiciel de traitement de données scientifiques, le logiciel R Studio version 4.0.3.

III) Résultats

Les résultats se divisent en trois parties, la première illustre la délimitation du BV de l'étang tandis que la deuxième partie témoigne des résultats obtenus à la suite des analyses dans le compartiment eau, mais aussi celui des sédiments. En revanche, la troisième partie fera l'objet des résultats liés aux paramètres zootechniques des poissons.

1. Résultats de la délimitation du bassin-versant des étangs lorrains et de l'occupation des sols

1.1) Étang des Sœurs-grises

Situé à proximité du Domaine de Lindre en Moselle, le BV de L01 possède une surface de 38,7 hectares (*Figure 5*). Le bassin-versant se décompose en deux grandes unités paysagères avec 69 % de forêt de feuillus et 26 % de terres cultivées. Les 5 % restant sont composés de 1 % de prairie, et de 4 % représentant l'étang en lui-même. Le BV n'est composé d'aucun autre plan d'eau que l'étang étudié et celui-ci est alimenté en eau notamment par les précipitations. Toutes les eaux présentes dans le BV s'écoulent et convergent donc vers le seul plan d'eau du BV, l'étang des Sœurs-grises.

1.2) Étang de la Plume

Localisé dans le département de la Meuse, le BV de L03 est situé dans la campagne à proximité de la ville de Verdun. Le BV possède une superficie de 35,2 ha, pratiquement similaire au BV de L01 mais ici, l'étang représente 12 % du BV en termes de surface (*Figure 6*).

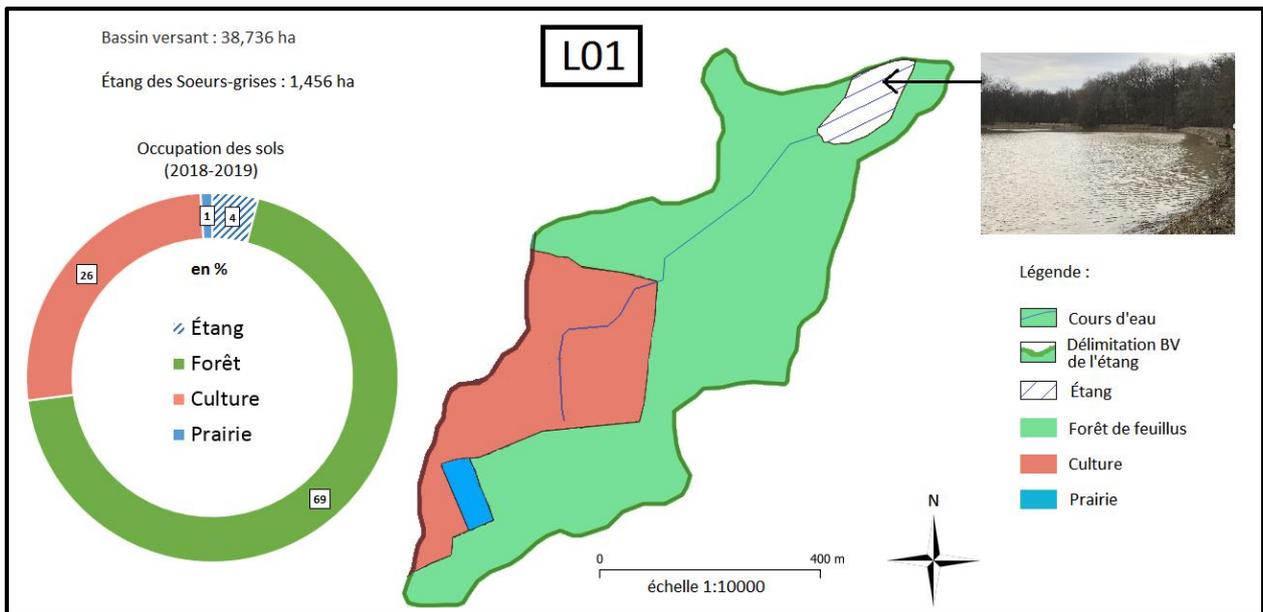


Figure 5 : Bassin-versant de l'étang des Sœurs-grises avec l'occupation des sols de 2018-2019.

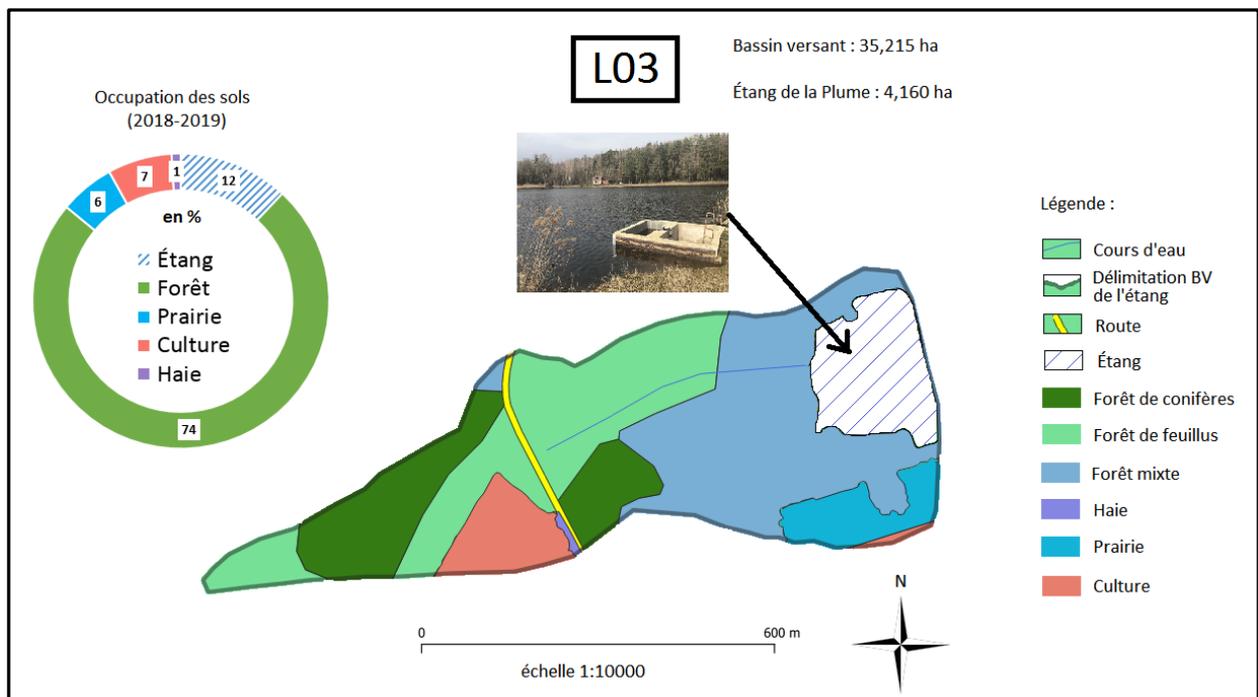


Figure 6 : Bassin-versant de l'étang de la Plume avec l'occupation des sols de 2018-2019.

L'occupation du sol est bien plus contrastée avec différents types de forêt, notamment les forêts de feuillus, de conifères et mixte. Par souci de lisibilité, les types de forêts ont été regroupés dans la même catégorie et représentent quasiment les trois quarts du BV. Par ailleurs, le BV est occupé à 7 % de culture et à 6 % de prairie tandis que les haies représentent seulement 1 %. Le BV n'est pas seulement plus contrasté en termes de types de forêt, il est aussi plus contrasté en types de sols. Il y a en effet une alternance plus marquée entre les unités paysagères. Il est à noter que la route scinde le BV en deux pourtant l'eau s'écoule quand même et vient alimenter l'étang L03. De façon similaire au BV de L01, celui-ci ne possède aucun autre plan d'eau que l'étang d'intérêt.

1.3) Étang de la ferme expérimentale de la Bouzule

Situé à 15 kilomètres de Nancy dans la Meurthe-et-Moselle, le BV de cet étang est bien différent des deux autres BV exposés plus tôt. Premièrement, la superficie du BV est approximativement vingt fois plus grande que celui de L01 et vingt-deux fois plus grande que la superficie du BV de L03. Le BV de L04 possède une superficie de 774 ha. Deuxièmement, le BV comprend des unités paysagères autres que celles mentionnées dans les deux autres BV. En effet sur la *Figure 7*, le BV de l'étang L04 est occupé par des zones urbaines illustrées par des bâtiments, celles-ci représentent 5 % de la superficie du BV. D'autre part, un quart du BV est occupé par des prairies tandis qu'un autre quart est occupé par des champs de culture. Les haies représentent quant à elles seulement 0,7 % du BV. L'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule a une superficie de 2,126 ha et représente 0,3 % du BV. Le reste du BV de l'étang est composé de forêts et plus précisément de forêts de feuillus pour un total de 44 % du BV. Enfin, une des autres raisons qui différencie ce BV de ceux de L01 et L03 est que l'eau qui alimente l'étang traverse une multitude de champs de culture. Les différents ruisseaux qui se déversent dans le cours d'eau alimentant L04 prennent d'ailleurs leurs sources à proximité des zones urbaines. Il y a donc des différences notables entre un BV de cette superficie et les deux autres BV de moins de 40 ha. De la même façon que pour le BV des deux autres étangs du Grand-Est, l'étang étudié à des fins scientifiques est le seul plan d'eau qui compose le BV.

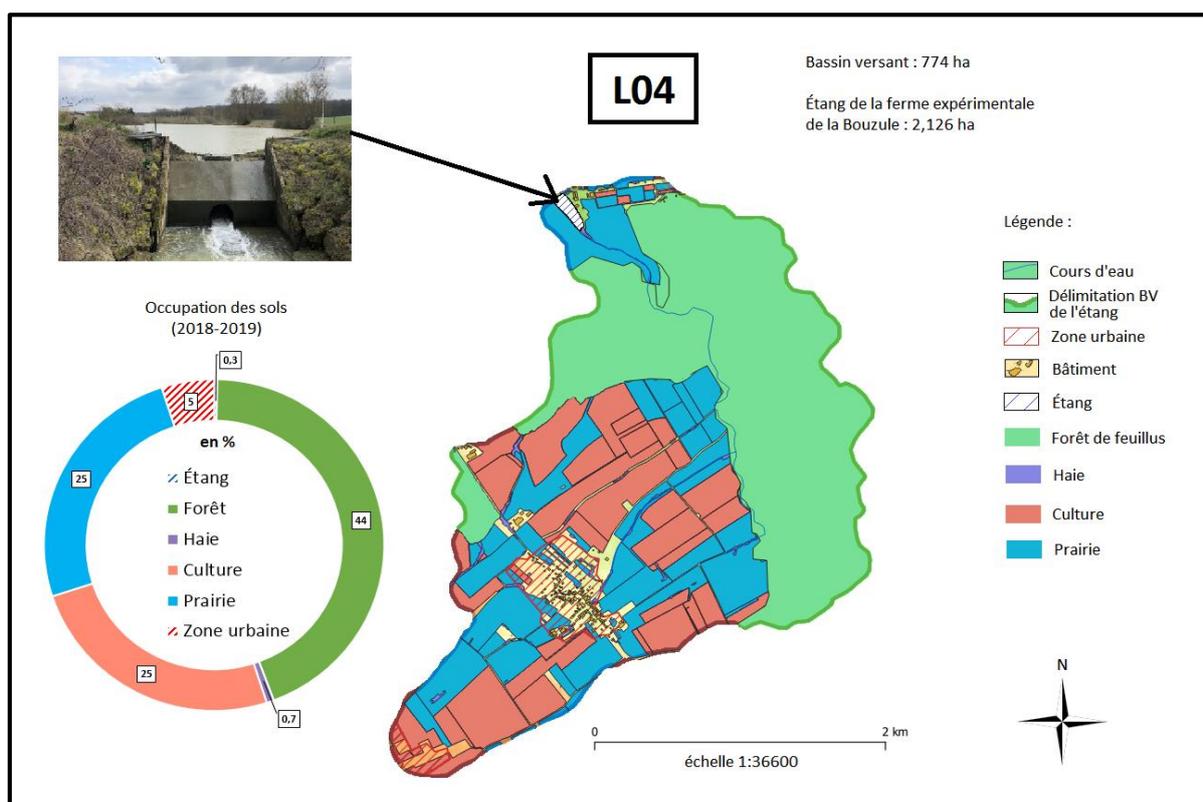


Figure 7 : Bassin-versant de l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule avec l'occupation des sols de 2018-2019.

2. Résultats des suivis lors des campagnes de prélèvements

2.1) Compartiment eau

A) Résultat du suivi hydrobiologique et de la qualité de l'eau

Le suivi hydrobiologique désignant l'amplitude de marnage dans l'étang et donc la variation du niveau d'eau a été réalisé aux six dates de campagnes de terrain tout comme le suivi de la transparence et le suivi des paramètres physico-chimiques avec les sondes. Les données obtenues lors des prélèvements sur le terrain sont présentées dans le *Tableau 5*.

Il apparaît clairement que la hauteur d'eau varie rapidement d'une campagne de prélèvement à l'autre. En quelques semaines seulement, l'amplitude de marnage peut passer de 66 à 79 cm par exemple entre le prélèvement 5 et 6 pour un étang comme L03 d'une superficie de plus de quatre hectares. Peu importe l'étang, la même tendance est observée. En effet, entre le prélèvement 1 mi-mai et le prélèvement 2 fin mai, la hauteur d'eau a augmenté de 8,37 cm en moyenne. La hauteur d'eau à L03 continue d'augmenter de 5,2 cm entre le prélèvement 2 et 3 pour ensuite diminuer jusqu'au prélèvement 5 tandis que la hauteur d'eau pour L01 et L04 diminue du prélèvement 2 au prélèvement 4. En juillet, l'eau passe de 66 à 79 cm en deux semaines pour L03. Pour les deux autres étangs du programme, la hauteur d'eau augmente à partir du prélèvement 4 jusqu'au dernier prélèvement fin juillet. Durant cette campagne de prélèvement, la hauteur d'eau a varié en moyenne de 6,6 et 6,2 cm pour L04 et L03 respectivement tandis que la variation du niveau d'eau était de 4,5 cm pour L01.

Au niveau des paramètres physico-chimiques mesurés à l'aide de la sonde multiparamètre cette fois, on observe que l'oxygène dissous (DO) varie de façon différente d'un étang à l'autre. Pour L04, DO diminue progressivement du prélèvement 2 au 5, passant de 11,4 à 5,24 mg/L puis remonte à 10,55 lors du prélèvement 6. Pour L01 maintenant, DO diminue progressivement tout le long des campagnes de prélèvement passant d'un extrême à l'autre du prélèvement 2 à 14,59 à 5,39 mg/L lors du prélèvement 6. Enfin, pour L03, DO diminue d'un peu plus de 1 mg/L puis augmente progressivement à partir du prélèvement 3 jusqu'à la fin de la campagne terrain.

Pour le pH, les variations sont moins flagrantes que pour d'autres paramètres comme nous le verrons avec la conductivité. Pour tous les étangs, les variations de pH entre les campagnes de prélèvement sont relativement faibles et la différence entre le maximum et le minimum de pH est inférieur à une unité de pH.

Comme mentionné plus tôt, il y a des différences notables entre les campagnes de prélèvement pour chaque étang, mais aussi entre les étangs. Pour L03, la conductivité fluctue autour d'une valeur moyenne de 458 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec un écart-type de 21,3 ce qui est relativement stable comparé à L04 qui lui aussi possède une valeur de conductivité moyenne de 458 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cependant son écart-type est de 71, plus de trois fois supérieur à celui de L03. De la même façon que L04, la conductivité de l'étang L01 possède un écart-type relativement élevé de 59,8 alors que le point autour duquel la conductivité oscille est de 265 $\mu\text{S}/\text{cm}$, une moyenne bien plus basse. La conductivité est donc relativement stable pour L03, fluctuante pour L04 et très fluctuante pour L01.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des données collectées lors des six campagnes de prélèvements sur le terrain. Les variations de la hauteur d'eau (en cm) sont présentes dans la colonne Hauteur d'eau. La colonne Multi paramètre correspond aux données d'oxygène dissous (en mg/L), de pH et de conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$) mesurées avec la sonde Odéon. La mesure de la transparence (en cm) est indiquée dans la colonne Disque de Secchi. Les mesures ont été prises lors de chaque prélèvement et sont datées en termes de jour et d'heure pour chacun des étangs où L01 : étang des Sœurs-grises, L03 : étang de la Plume et L04 : étang de la ferme expérimentale de la Bouzule.

	Étang	Date	Hauteur d'eau		Multi paramètre				Disque de Secchi	
			Variation (+/- X cm)	Heure du relevé	Oxygène dissous (mg/L)	pH	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Heure du relevé	Transparence (en cm)	Heure du relevé
Prélèvement 1	L04	10/05/2021	-18,5	11h32	NA	8,87	507	12h	42	10h30
	L01	10/05/2021	-13,1	13h40	NA	7,9	295	13h45	52	13h45
	L03	11/05/2021	62,5	11h40	NA	7,95	471	11h30	> 218	11h45
Prélèvement 2	L04	25/05/2021	-10	9h30	11,4	NA	385	10h	28	10h15
	L01	25/05/2021	-3,5	14h	14,59	NA	332	14h15	79	13h45
	L03	26/05/2021	69,5	11h20	6,18	NA	453	11h05	> 232	11h20
Prélèvement 3	L04	08/06/2021	-12	9h15	8,25	8,15	452	9h15	50	9h30
	L01	07/06/2021	-8	13h00	11,49	8,1	295	13h05	63,5	13h00
	L03	08/06/2021	75,7	13h40	4,91	7,72	455	13h40	> 246	13h50
Prélèvement 4	L04	21/06/2021	-20,5	9h35	7,7	8,18	498	9h40	27,5	10h00
	L01	21/06/2021	-16	13h20	10,25	8,41	198,1	13h25	19,4	13h20
	L03	22/06/2021	67,5	10h45	5,27	7,49	476	10h40	213	10h45
Prélèvement 5	L04	05/07/2021	-14,5	9h35	5,24	8,22	544	9h40	35	10h00
	L01	05/07/2021	-8,5	12h30	9,42	8,44	183,2	12h35	39	12h10
	L03	06/07/2021	66	10h50	6,44	7,32	475	10h55	225	10h45
Prélèvement 6	L04	19/07/2021	-2	9h45	10,55	7,93	366	10h00	43	10h15
	L01	19/07/2021	-6,5	12h00	5,39	7,61	285	12h10	34,5	11h50
	L03	20/07/2021	79	10h35	7,25	7,98	420	10h45	105	10h30

La transparence de l'eau mesurée à l'aide du disque de Secchi varie dépendamment de l'étang. Pour L03, l'étang le plus profond, la transparence était maximale au point de voir le fond de l'étang jusqu'au troisième prélèvement. Ensuite, le fond n'a plus été visible et la transparence a eu tendance à diminuer de moitié entre le prélèvement 5 et 6. Pour les deux autres étangs, le fond de l'étang n'a jamais été observé et la transparence était parfois très faible jusqu'à avoir une visibilité de moins de 20 cm comme le 21 juin à L01. En moyenne, la transparence est moins variable pour L04 que pour L01 avec un écart-type de 9 et de 21,4 cm respectivement.

B) Résultats du suivi de la température mesurée en continue

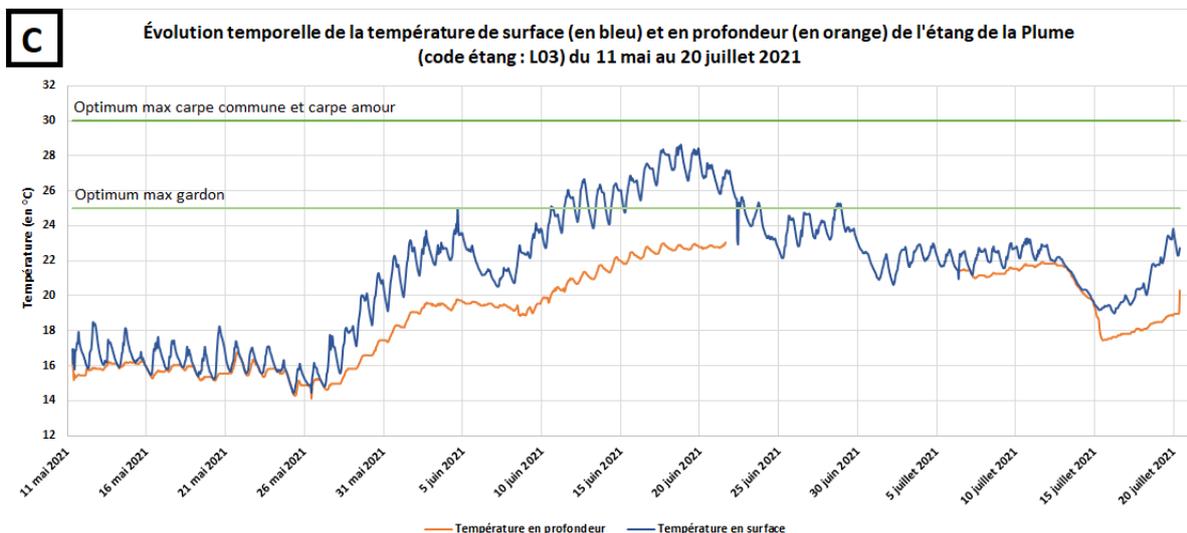
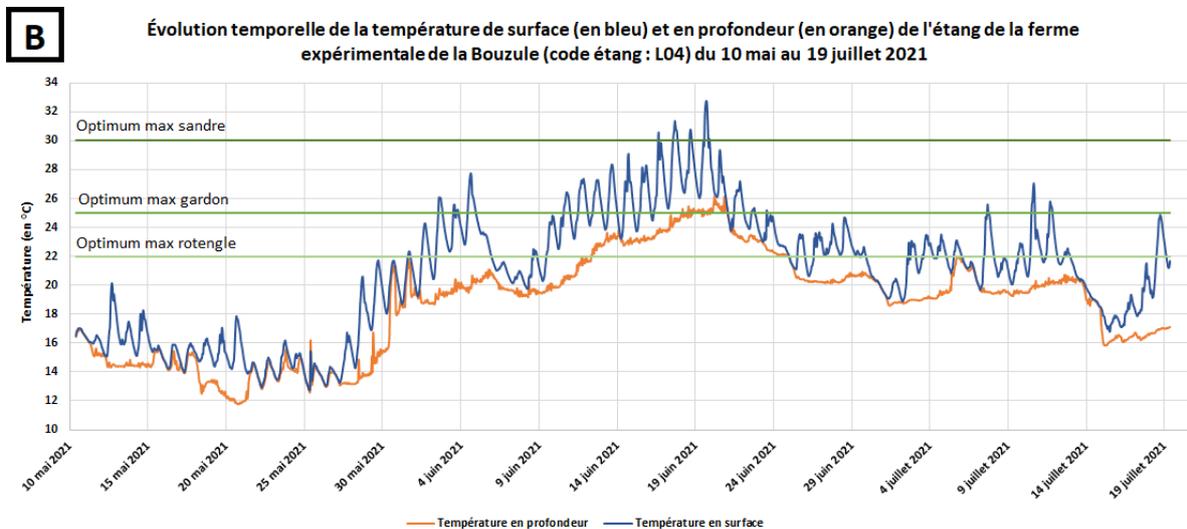
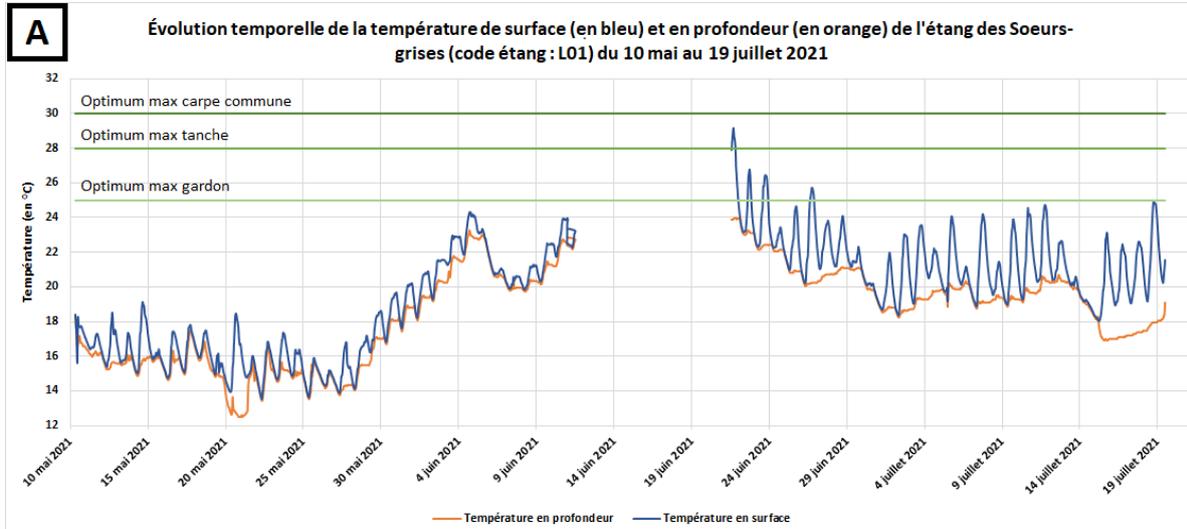
Les capteurs introduits dans les étangs ont enregistré la température en continue sur plusieurs mois. Les tracés des températures sont présentés *Figure 8* pour chaque étang, deux courbes de température sont représentés, une courbe de la température de surface et une courbe de la température du fond de l'étang.

Sur la *Figure 8.A* il est observé une température avoisinant les 16°C durant le mois de mai avant l'augmentation progressive des températures de fin mai jusqu'au 5 juin. Une baisse des températures s'est ensuite fait ressentir avant de remonter à une température d'environ 23°C. Un problème technique a eu lieu le 12 juin et les capteurs ont cessé de fonctionner jusqu'au prélèvement 4 où ils ont été reconfigurer correctement. Il apparaît que la température en surface possède un degré d'amplitude bien plus important à partir du 22 juin où les variations de température peuvent atteindre jusqu'à 6 degrés de différence durant un cycle jour-nuit comparé à 2 degrés de différence en moyenne avant le 12 juin. Les capteurs n'ayant pas fonctionné lors de la période la plus chaude de la saison, il est difficile de savoir à quelle température l'eau de L01 est montée et si les poissons ont très peu, largement, ou pas du tout dépassés leur préférendum thermique.

Dans l'étang L04, la température suit à peu de choses près la même tendance que pour L01 (*Figure 8.B*). En général, l'amplitude de température durant les cycles jour-nuit est de 4 degrés environ et est homogène tout le long des campagnes de prélèvements. Dans cet étang, la température est montée jusqu'à 32°C en surface et 25°C en profondeur au maximum avec une période très chaude à la mi-juin. Durant cette période, l'optimum thermique des sandres a partiellement été dépassé à certains moments de la journée tandis que l'optimum thermique des gardons et rotengles a été largement dépassé tout le long de la journée et même de la nuit à partir du 10-11 juin.

Dans le cas de figure de L03 cette fois (*Figure 8.C*), la température de surface et de fond suit aussi la même tendance que les deux autres étangs, mais avec des pics de température moins importante en surface que les deux autres. Les variations de température sont plus faibles dans cet étang et sont en moyenne de 2 degrés durant tout le suivi. Le capteur en profondeur s'est détaché du dataloguer peu de temps après le prélèvement 4, la corde rongée par les ragondins a été remplacée le plus vite possible lors du prélèvement 5. Les mesures de température en profondeur n'ont donc pas pu se faire adéquatement puisque le capteur est remonté à la surface de l'étang à cause du flotteur auquel il était attaché. L'optimum thermique maximal des espèces de poissons introduites dans L03 n'a pas été dépassé pour les carpes communes et les carpes amours. Néanmoins, la température en surface a excédé le préférendum thermique des gardons du 12 au 22 juin.

Figure 8 : Graphique du suivi temporel de la température de surface (courbe bleue) et de la température en profondeur (courbe orange) dans les étangs lorrains. **A :** suivi de la température dans l'étang des Sœurs-grises (L01) du 10 mai au 19 juillet 2021 où l'optimum thermique maximal des espèces empoissonnées (gardon, carpe commune et tanche) est représenté par une droite. **B :** suivi de la température dans l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) du 10 mai au 19 juillet 2021 où l'optimum thermique maximal des espèces empoissonnées (gardon, rotengle et sandre) est représenté par une droite. **C :** suivi de la température dans l'étang de la Plume (L03) du 11 mai au 20 juillet où l'optimum thermique maximal des espèces empoissonnées (gardon, carpe commune et carpe amour) est représenté par une droite.



C) Résultats de l'analyse de la concentration en nutriment et chlorophylle

1. La physico-chimie de l'eau

L'azote global (noté NG) dans L01 passe de 1 à 12 mg/L entre le 1^{er} prélèvement et le deuxième et diminue ensuite presque de moitié au troisième prélèvement (*Figure 9*). Pour L04, NG débute à 4,2 mg/L et diminue quasiment de 1 mg/L à chaque prélèvement. Par ailleurs dans l'étang L03, NG reste stable au cours des cinq prélèvements. Les différences entre les étangs sont notables. L'ordre de grandeur varie en effet grandement d'un étang à l'autre.

L'azote total Kjeldahl (noté NTK) augmente tout le long des prélèvements à L01 à de faibles proportions. Pour L04, la quantité de NTK se stabilise autour de 2,9 mg/L d'azote tandis que la quantité de NTK oscille autour de 1 mg/L d'azote. La quantité de NTK est plus importante dans l'étang L04 que dans les deux autres étangs où les valeurs de NTK n'ont pas dépassé les 2 mg/L d'azote.

La chlorophylle a (noté Chl) est relativement stable durant les campagnes de terrain avec un pic entre le prélèvement 4 et 5 où la Chl passe de 0,6 à 1,9 µg/L à L03. Pour L01, un pic de Chl est observé lors du deuxième prélèvement à 16,2 µg/L et redescend ensuite très bas à 0,9 µg/L. Enfin, pour L04, la Chl supplante tous les autres paramètres et l'échelle a été réduite pour permettre de visualiser les variations des autres paramètres. Dans cet étang, le pic de Chl déjà présent lors du prélèvement 1 monte à 213 µg/L au prélèvement 2 et diminue ensuite de plus de 7 fois pour atteindre une quantité de Chl de 27,8 µg/L. Pour ce paramètre, la disparité entre les trois étangs est très forte.

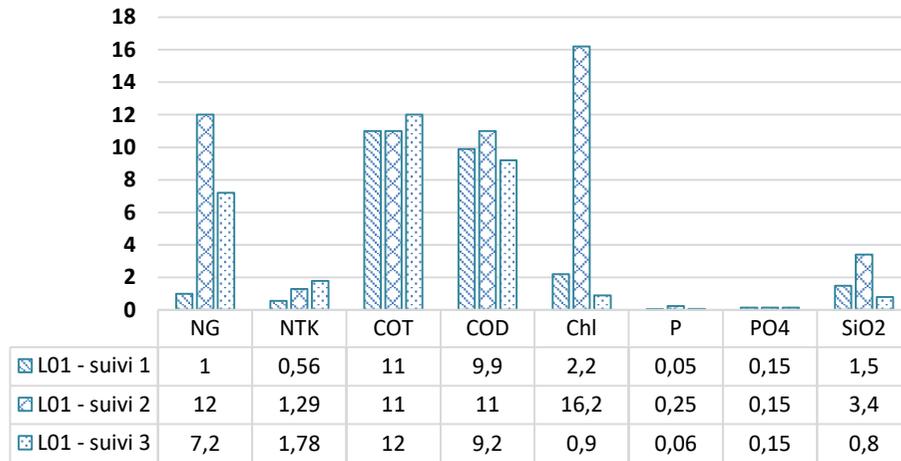
Le carbone organique (noté COD pour le dissous et COT pour le total) est comparable entre les étangs. Le COT et le COD suivent exactement les mêmes tendances étant donné l'interdépendance entre ces deux paramètres. Incontestablement, le COT comprend le COD et le carbone organique particulaire. Pour L01, le COT et le COD varient peu entre les prélèvements, il est tout de même à noter que lors du prélèvement 2, la totalité du carbone organique retrouvé dans l'eau de l'étang était du COD puisque la quantité de COT est égale à la quantité de COD, c'est-à-dire 11 mg/L de carbone.

Pour L03, la proportionnalité entre le COT et le COD est plus forte que pour L01 et il apparaît qu'une faible diminution a eu lieu entre le prélèvement 1 et 2 avant de remonter à une valeur intermédiaire au prélèvement 3. Pour L04, la quantité de carbone organique avoisine les 8 mg/L de carbone avec un pic notable lors du prélèvement 4 où la quantité de COD et de COT frôle la barre des 10 mg de carbone par litre.

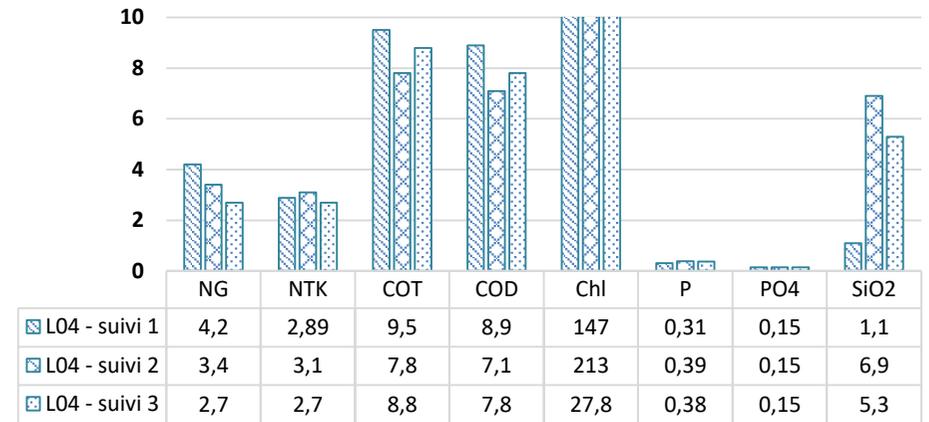
Le phosphore (symbole chimique P) augmente de 0,05 à 0,25 mg P/L en l'espace de deux semaines puis redescend ensuite à 0,06 au prélèvement 3 pour L01. Maintenant pour L04, la quantité de P est bien plus forte que pour L01 et que L03 qui ne dépasse pas les 0,05 mg P/L. En effet, la quantité de P ne descend pas en dessous de 0,3 mg P/L à L04.

Pour les orthophosphates (symbole chimique PO₄), les analyses montrent qu'il n'y a aucune évolution ni positive ni négative entre les différentes campagnes de prélèvement. Il n'y a donc aucune différence entre les prélèvements pour les trois étangs en question et la valeur des PO₄ reste et demeure de 0,15 mg PO₄/L.

Suivi de la physico-chimie de l'eau de l'étang des Soeurs-grises (L01) sur trois dates de prélèvement



Suivi de la physico-chimie de l'eau de l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) sur trois dates de prélèvement



Suivi de la physico-chimie de l'eau de l'étang de la Plume (L03) sur cinq dates de prélèvement

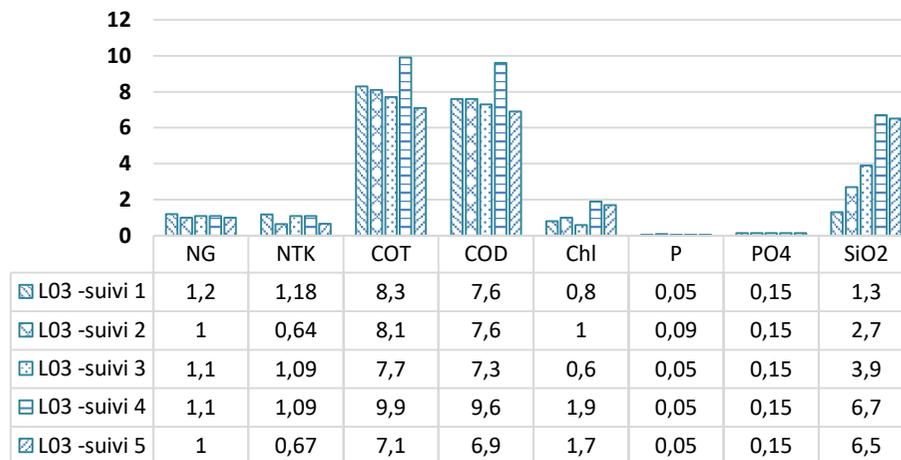


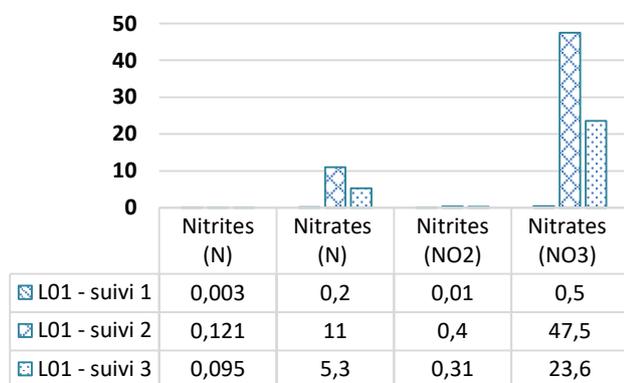
Figure 9 : Suivi de la physico-chimie de l'eau des étangs du programme SEPURE sur trois dates de prélèvement pour L01 : étang des Sœurs-grises et pour L04 : étang de la ferme expérimentale de la Bouzule et sur 5 dates de prélèvement pour L03 : étang de la Plume. Un total de huit paramètres a été mesuré lors de chaque prélèvement ; l'azote global (NG, exprimé en mg/L) ; l'azote total Kjeldahl (NTK, exprimé en mg N/L) ; le carbone organique total (COT, exprimé en mg C/L) ; le carbone organique dissous (COD, exprimé en mg C/L) ; le phosphore (P, exprimé en mg P/L) ; les orthophosphates (PO4, exprimé en mg PO4/L) et enfin les silicates solubles (SiO2, exprimé en mg SiO2/L).

Au niveau des silicates solubles (exprimés en SiO₂) les tendances sont très variables d'un étang à l'autre. Prenons L01, l'évolution de SiO₂ suit presque exactement la même tendance que d'autres paramètres comme NG, la Chl ou P, il y a un pic observable lors du deuxième prélèvement. Les SiO₂ passent de 1,5 à 3,4 puis à 0,5 mg SiO₂/L. Le même patron est observé pour L04, les SiO₂ passe de 1,1 à 6,9 et retombe à 5,3 mg SiO₂/L lors du troisième prélèvement. Une toute autre tendance est observée pour l'étang L03 où les SiO₂ sont en constante augmentation au fur et à mesure des prélèvements. La valeur mesurée double pratiquement d'un prélèvement à l'autre, excepté pour le suivi 6.

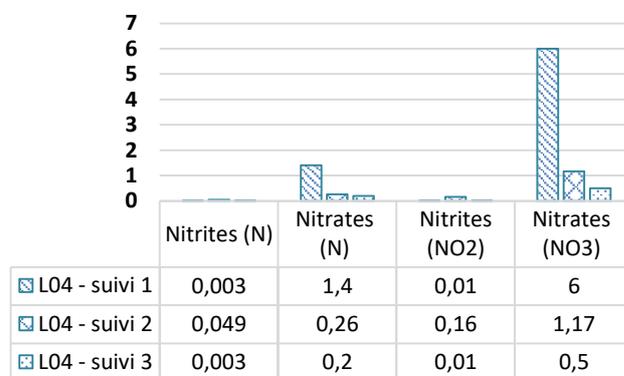
2. Suivi des ions nitrites et nitrates

Dans cette section, les concentrations de nitrites et de nitrates dans l'eau ont été exprimées directement sous forme de nitrates (NO₃⁻) ou de nitrites (NO₂⁻) mais aussi sous forme d'azote. Ces concentrations sont illustrées *Figure 10* pour chaque étang en faisant apparaître les valeurs de concentration durant tous les prélèvements. Étant donné la redondance de

Suivi des ions nitrites et nitrates présents dans l'eau de l'étang des Soeurs-grises (L01) sur trois dates de prélèvement



Suivi des ions nitrites et nitrates présents dans l'eau de l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) sur trois dates de prélèvement



Suivi des ions nitrites et nitrates présents dans l'eau de l'étang de la Plume (L03) sur cinq dates de prélèvement

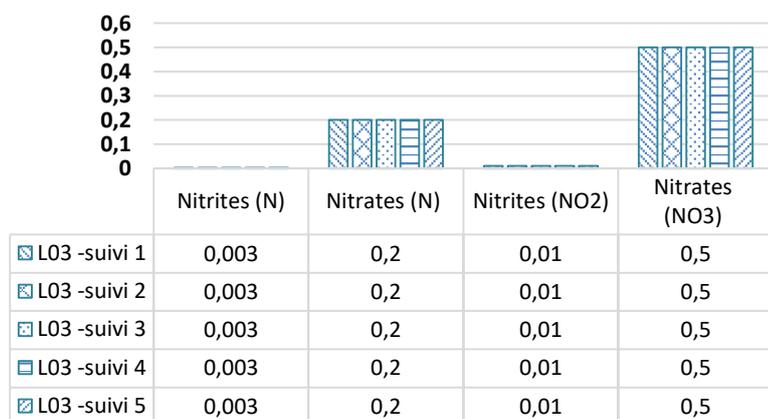


Figure 10 : Suivi des ions nitrites et nitrates présents dans l'eau des étangs sur trois dates de prélèvement pour L01 : étang des Soeurs-grises et pour L04 : étang de la ferme expérimentale de la Bouzule et sur 5 dates de prélèvement pour L03 : étang de la Plume. La concentration en nitrites est exprimé en mg NO₂/L : Nitrites (NO₂) et en mg N/L : Nitrites (N). La concentration en nitrates est exprimé en mg NO₃/L : Nitrates (NO₃) et en mg N/L : Nitrates (N).

l'information dû au lien entre la concentration de nitrites en mg N/L et la concentration de nitrites en mg NO₂/L, un seul de ces paramètres fera l'objet d'analyse. Inévitablement, ce

postulat est aussi valable pour les nitrates. Il a été choisi d'exprimer l'évolution des ions nitrites et nitrates au cours du temps en mg NO₂/L et en mg NO₃/L.

Il apparaît que pour l'étang L01, les nitrites étaient présents en quantité infime lors du suivi 1 et sont passés au suivi 2 à 0,4 mg NO₂/L pour redescendre à 0,31 mg NO₂/L au suivi 3. Quant aux nitrates, les concentrations sont les plus importantes des trois étangs. En effet, ils passent d'une faible quantité à un pic de 47,5 mg NO₃/L lors du suivi 2 puis la concentration diminue de moitié pour atteindre 23,6 mg NO₃/L au prélèvement 3.

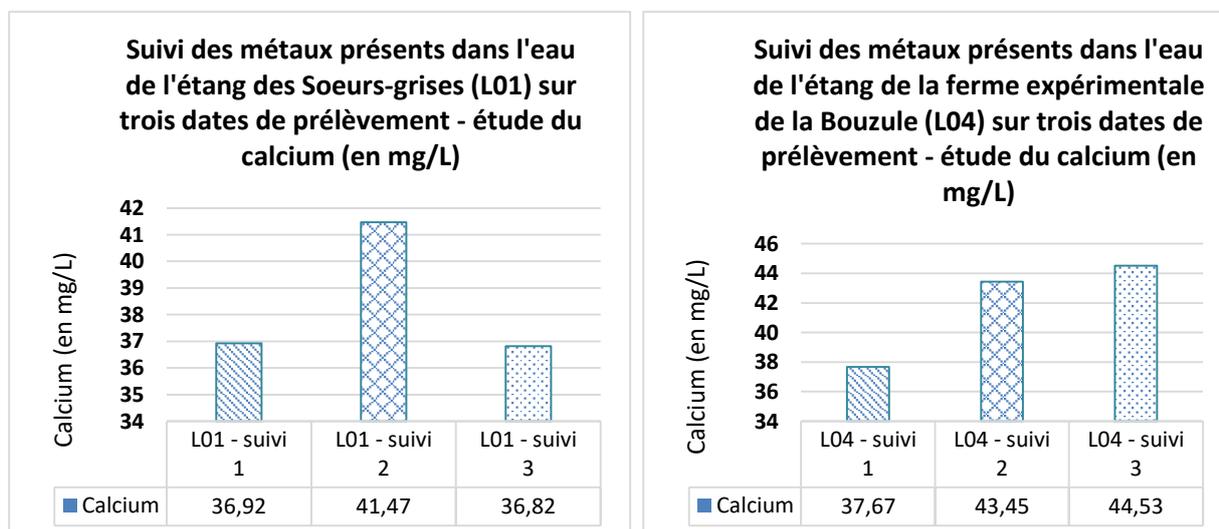
Pour l'étang L04, les nitrites suivent la même tendance que dans l'étang L01. La concentration de NO₂⁻ est quasi-nulle puis passe à 0,16 mg NO₂/L au prélèvement 2 avant de retomber à une quantité infime. Pour les nitrates, il y a une baisse notable de la concentration qui passe de 6 à 1,17 mg NO₃/L et qui diminue à nouveau de moitié au troisième prélèvement pour atteindre 0,5 mg NO₃/L.

Dans l'étang L03, les concentrations de nitrites et de nitrates sont présentes en quantité tellement infime que les variations sont imperceptibles par les méthodes spectrophotométriques réalisées par EUROFINs. En effet, les mesures de NO₂⁻ et de NO₃⁻ durant la totalité des suivis restent inchangées.

3. Suivi des métaux – le calcium

Un des paramètres mesurés lors des campagnes de prélèvement sur le terrain a été le calcium et est présenté *Figure 11*. Dans L01 la concentration en calcium augmente de 4,55 mg/L entre le premier et le deuxième prélèvement avant de retourner à son état initial lors du suivi 3.

Pour L04, la tendance était à l'augmentation de la concentration de calcium. Elle a augmenté de la même façon que L01 avec cette fois une augmentation de 5,78 mg/L entre le suivi 1 et 2. Cependant, lors du troisième prélèvement, la concentration en calcium n'a pas continué de suivre la tendance à L01 puisque la concentration a été mesurée à 44,53 mg/L. Quant à L03, la concentration en calcium est deux fois plus importante que les deux autres étangs avec une moyenne de 81,7 mg/L sur l'ensemble des prélèvements. Il semblerait cependant qu'il y ait un patron de fluctuation du calcium de 10 mg/L d'un prélèvement à l'autre. En effet, la concentration passe de 88 à 78,68 mg/L puis remonte à 84 pour redescendre à 74,19 mg/L et la dernière mesure prise indique 83,79.



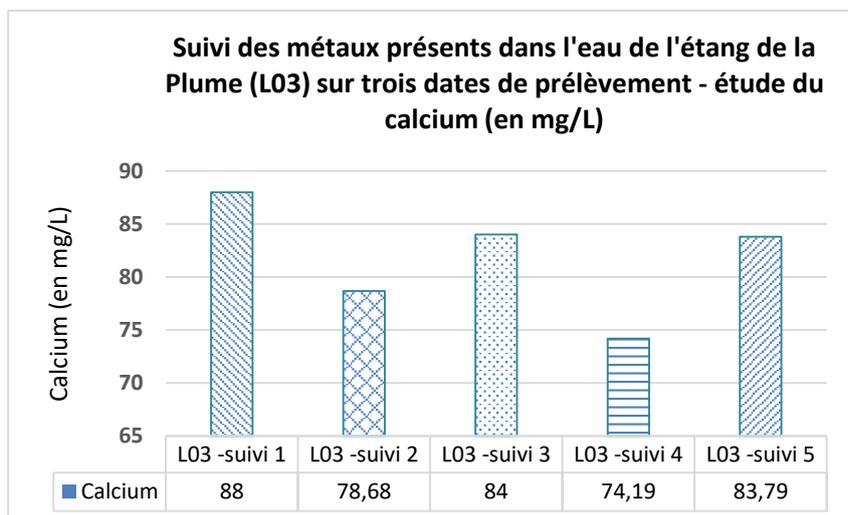


Figure 11 : Suivi des métaux – étude du calcium en mg/L présents dans l'eau des étangs sur trois dates de prélèvement pour L01 : étang des Sœurs-grises et pour L04 : étang de la ferme expérimentale de la Bouzule et sur 5 dates de prélèvement pour L03 : étang de la Plume.

2.2) Compartiment sédiment

À la suite du prélèvement de sédiment lors du suivi 1 le 10 mai pour L01 et L04 et le 11 mai pour L03, les résultats des différents paramètres mesurés sont présentés *Figure 12*.

L'azote total (simplement noté azote) est très faible dans les sédiments de L03 à 1 g/kg comparé à L04 où les sédiments atteignent une concentration de 4,8 g/kg. Pour L01, la concentration d'azote est intermédiaire aux deux autres étangs.

L'oxyde de calcium (CaO) communément appelé la chaux vive montre une concentration très forte dans l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) et atteint 12,51 g/kg. La chaux vive est aussi retrouvée à une concentration très élevée à L03 avec 10,42 g/kg comparé à l'étang L01 où CaO dépasse de très peu les 6 g/kg.

Le taux de carbonates est très extrême pour L04 avec un taux équivalent à 83 g/kg, ce taux est démesuré comparé aux valeurs du taux des deux autres étangs. En effet, le taux de carbonates s'élève à 5 et 2 g/kg pour L03 et L01 respectivement.

Au niveau du carbone retrouvé dans les sédiments cette fois, la concentration la plus forte est observée à presque 40 pour L04 tandis qu'elle est de 24,7 pour L01 et de 9,22 g/kg pour L03. Le rapport de carbone sur azote qui en découle, le ratio C/N, est identique entre l'étang L01 et L03 et est égal à 9. L'étang L04 possède un ratio plus petit de 8.

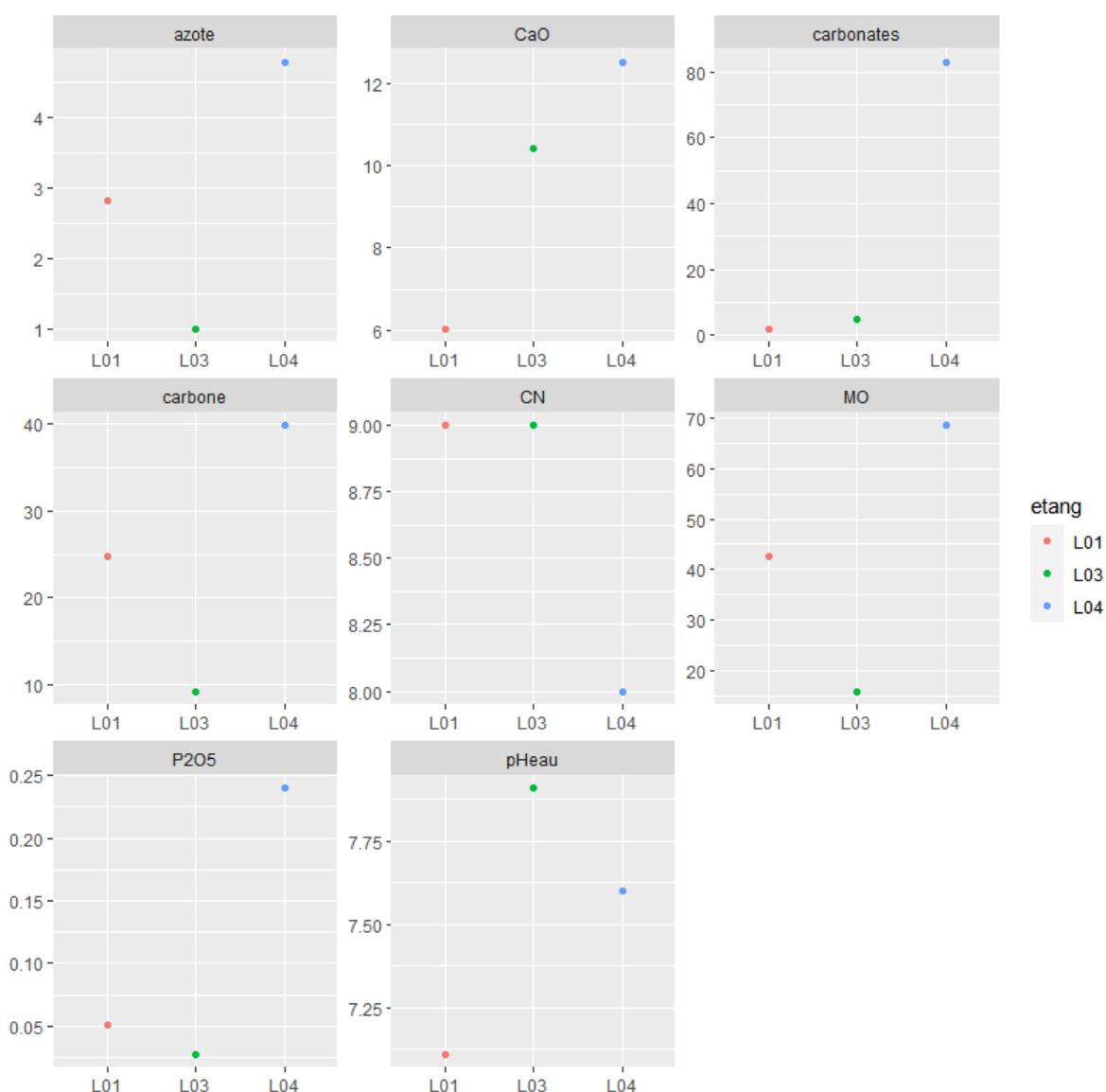
La matière organique retrouvée dans les sédiments est égale à 15,85 g/kg et est relativement faible pour L03 comparé à la MO retrouvée à L04 à hauteur de 68,67 g/kg. L01 possède une valeur de MO intermédiaire aux deux autres étangs avec une teneur en MO de 42,48 g/kg.

Le pentoxyde de phosphore de symbole chimique P_2O_5 est retrouvé en grande quantité dans L04. La concentration pour L04 est cinq fois supérieure par rapport à la concentration retrouvée dans L01 et huit fois supérieur à celle retrouvée dans L03.

Au niveau du pH de l'eau, la gamme des valeurs reste relativement proche entre les étangs. Le pH de l'eau le plus fort est atteint par L03 à 7,91 alors que le pH le plus faible est de 7,11 pour L01. Pour L04, le pH de l'eau dans les sédiments est de 7,6.

En somme, il apparaît que les étangs soient bien différents car il existe de fortes disparités avec des valeurs extrêmes pour certains paramètres mesurés dans les sédiments des étangs lorrains.

Figure 12 : Analyse des sédiments où les paramètres ont été mesurés lors d'un prélèvement réalisé le 10 mai à l'étang des Sœurs-grises (L01) et l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) et le 11 mai à l'étang de la Plume (L03). Un total de huit paramètres a été analysé : Azote total (azote) ; Oxyde de calcium (CaO) ; Taux de carbonates (carbonates) ; Carbone (carbone) ; Ratio C/N (CN) ; Matière organique (MO) ; Pentoxyde de phosphore (P2O5) et le pH de l'eau (pHeau). Tous les paramètres sont exprimés en g//kg excepté le ratio C/N et le pH de l'eau qui ne possède pas d'unité.



3. Résultats de l'empoissonnement des étangs

Les différentes espèces de poissons ont été empoissonnées dans les trois étangs faisant partie du programme SEPURE. Les résultats de la biométrie des poissons sur un échantillon de n=100 individus lors de l'empoissonnement sont présentés dans le *Tableau 6*.

Tableau 6 : Tableau des caractéristiques zootechniques tel que la longueur totale moyenne (LT moy, en cm) et le poids moyen (Poids moy, en g) mesurés lors de l’empoissonnement des poissons dans les étangs sur 100 individus. Le stade physiologique est indiqué ainsi que la date à laquelle les poissons ont été alevinés dans l’étang.

Étang	Sœurs-grises	Plume	Bouzule
Code	L01	L03	L04
Date alevinage	10/03/2021	04/03/2021 + 16/04/2021	19/03/2021
Nom vernaculaire espèce 1	Gardon	Gardon	Gardon
Stade de vie physiologique	Adulte	Adulte	Adulte
Longueur totale moyenne (LT en cm)	9,51	18,72	13,32
Poids moyen (en g)	9,05	79,44	25,47
Espèce 2	Carpe commune	Carpe commune	Rotengle
Stade	Juvenile	Adulte	Adulte
LT moy	7,91	48,82	11,91
Poids moy	6,82	2326,39	19,4
Espèce 3	Tanche	Carpe amour	Sandre
Stade	Adulte	Adulte	Adulte
LT moy	13,28	52,03	18,12
Poids moy	27,05	1589,71	46,99

Ces mesures seront utilisées dans l’objectif de contrôler la croissance des individus et *in fine* les performances de croissances des espèces. Un nouvel échantillonnage sera donc réalisé lors de la pêche d’étang sur 100 individus. Il apparaît que les gardons introduits dans les trois étangs, bien qu’adultes, ne possèdent pas les mêmes caractéristiques zootechniques. Les gardons empoissonnés dans L03 ont une longueur totale deux fois plus importantes que les gardons dans L01 et un poids moyen presque neuf fois supérieur. On notera aussi que les carpes communes et amours introduites dans L03 sont des gros individus adultes mesurant respectivement 49 et 52 cm pour un poids total moyen de plus de 2 et 1,5 kg.

Grâce à cet échantillonnage et aux valeurs moyennes calculées de poids et de longueur, les indices de compatibilité (IC) des espèces ont pu être calculés. Les IC sont la moyenne de l’indice trophique (IT) et de l’indice spatio-temporel (IST), chacun de ces indices est indiqué dans le *Tableau 7*.

Dans deux des étangs l’IST est nul, en effet pour L01 et L03 l’association d’espèces à ces stades physiologiques montre que la compatibilité pour cet indice est de 0. Ceci étant, cela n’empêche pas d’obtenir un IT très élevé qui dépasse 0,6 pour les deux étangs. Pour L01, l’association d’espèce avec le gardon et la tanche adulte ainsi que la carpe commune juvénile possède un IC de 0,306 qui se traduit par une modalité PL. Cela veut dire qu’en théorie le potentiel de productivité de ce scénario d’assemblage d’espèce est faible.

En revanche pour L03, l’association d’espèce relève d’une modalité à potentiel moyen avec un IC de 0,355 résultant d’un IT extrêmement fort. Maintenant pour L04, le scénario impliquant le gardon, le rotengle ainsi que le sandre adulte possède un fort indice de compatibilité de 0,616 découlant d’un bon IT et d’une valeur très bonne d’IST.

Pour un même nombre d’espèce dans les trois scénarios dont certaines en communes, les valeurs d’indice de compatibilité se montrent variables.

En parallèle de cet échantillonnage, la totalité de la biomasse piscicole introduite dans les étangs a été mesurée et représente la biomasse totale réelle. Par opposition, la biomasse totale projetée était un indicateur calculé en amont. En somme, il est possible de connaître la biomasse totale de poissons introduits dans les étangs en fonction de l’espèce. Ces informations sont recensées dans le *Tableau 8*.

Tableau 7 : Tableau détaillant la valeur de l'indice trophique (IT) et de l'indice spatio-temporel (IST) utilisé dans le calcul de l'indice de compatibilité (IC) pour les combinaisons d'espèces présente dans les étangs des Sœurs-grises (L01), de la Plume (L03) et de l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04). Les modalités correspondantes sont indiquées avec un code couleur, rouge pour un faible potentiel (PL), orange pour un potentiel moyen (PM) et vert pour un haut potentiel (PH).

Étang	Sœurs-grises	Plume	Bouzule
Code étang	L01	L03	L04
Nombre d'espèce	3	3	3
Espèces (avec le stade physiologique, A : Adulte et J : Juvenile)	Gardon A Carpe commune J Tanche A	Gardon A Carpe commune A Carpe amour A	Gardon A Rotengle A Sandre A
Indice trophique (IT)	0,612	0,709	0,454
Indice spatio-temporel (IST)	0,000	0,000	0,778
Indice compatibilité (IC)	0,306	0,355	0,616
Modalités	PL	PM	PH

Tableau 8 : Calcul de la biomasse totale réelle introduite dans les étangs selon l'espèce de poisson. Toutes les mesures sont exprimées en kg.

L01			L03			L04		
Biomasse totale	projetée	réelle	Biomasse totale	projetée	réelle	Biomasse totale	projetée	réelle
Gardon	38	30	Gardon	420	57,54	Gardon	63	63
Carpe commune	75	60	Carpe commune	175	141,91	Rotengle	63	63
Tanche	12	10	Carpe amour	70	66,77	Sandre	14	14
Total	125	100	Total	665	266,22	Total	140	140

La biomasse totale prévue était donc estimée en amont en se basant sur la littérature et les connaissances scientifiques mais aussi sur l'expérience des pisciculteurs. Toutefois, la biomasse totale réelle reflète la disponibilité du poisson à ce moment-là selon l'espèce et selon la localisation de l'étang.

Finalement, 100 kg de poisson ont été empoissonnés dans L01 à raison de 60 kg de carpe commune, 30 de gardon et 10 de tanche. Un faible écart de 25 kg est observé en comparaison avec la biomasse totale projetée. Pour L03, c'est 266,22 kg qui ont été empoissonnés dans l'étang avec 141,91 kg de carpe commune, 57,54 de gardon et 66,77 de carpe amour. La biomasse totale réelle a été relativement bien respectée pour les deux espèces de carpes alors que plus de 360 kg manque par rapport aux projections pour le gardon. La biomasse piscicole introduite dans L04 a été totalement respectée. En effet, la biomasse totale réelle est en parfaite adéquation avec les projections prévues pour toutes les espèces. Un total de 140 kg dont 63 de gardon, 63 de rotengle et 14 de sandre a été introduit dans l'étang.

La biomasse piscicole peut être mise en relation avec la superficie de l'étang. La biomasse/ha est relativement similaire entre les étangs et se concentre autour de 66 kg/ha à raison de 68,5 kg/ha pour L01, 64 kg/ha pour L03 et 65,7 kg/ha pour L04.

IV) Discussion

Dans cette section, une comparaison des trois étangs sera faite en essayant de faire le lien entre les différents assemblages d'espèces en polyculture et les paramètres environnementaux régissant la dynamique des étangs.

1. Le milieu environnant de l'étang et son impact sur la qualité de l'eau

Dans un premier temps, il est important de comprendre dans quel environnement se trouve les étangs. Pour ce faire, il suffit de comparer les bassins-versants précédemment délimités en prenant en compte l'occupation du sol.

En Lorraine, les étangs ont été construits par l'aménagement d'un barrage sur un cours d'eau de tête de bassin et plus particulièrement dans des fonds de vallées argileux, et ce pour la production de poissons. Il apparaît que dans cette région où prospère les étangs, ils sont localisés sur des cours d'eau temporaires dans des BV agricoles et/ou forestiers (Four, 2017). Le bassin-versant est la source d'alimentation en eau d'un plan d'eau. Dans notre cas, le BV a été délimité pour l'étang en lui-même et non pas pour la totalité du cours d'eau. Les étangs de l'étude sont implantés dans des BV composés principalement de forêt et de culture. Il est à noter qu'un BV sort du lot, il s'agit du BV de L04 du fait de sa superficie qui est très importante par rapport aux deux autres. De plus, un autre paramètre doit être pris en compte, c'est la présence de prairie qui représente un quart de la superficie du BV versus 6 % et 1 % pour L03 et L01 respectivement. Les prairies peuvent jouer le rôle de tampon en limitant le lessivage des nitrates pendant la période hivernale (Laurent, 2012). Elles jouent aussi un autre rôle puisqu'elles vont accroître la perméabilité du sol et donc réduire le ruissellement de l'eau. En somme, la composition des unités paysagères d'un bassin versant est déterminante sur la qualité de l'eau qui arrive par ruissellement dans l'étang.

De même, de par le milieu environnant et la nature intrinsèque de l'étang, la température de l'eau qui régit bon nombre de réactions chimiques et biologiques, est un facteur important à prendre en compte. En effet, la température influence des paramètres comme l'oxygène dissous qui influence lui-même le taux de croissance des individus (Cuenco *et al.*, 1985). D'autre part, la température affecte le cycle saisonnier du phytoplancton (Michael, 1969) et il aurait été intéressant de suivre l'évolution temporelle des grands groupes de phytoplancton à l'intérieur des étangs.

2. Impact de la qualité de l'eau sur la productivité des étangs à vocation piscicole

La productivité d'un étang passe avant tout par la qualité de l'eau qui la compose. C'est le premier élément à prendre en compte pour la bonne gestion d'une pisciculture d'étang.

2.1) Comprendre le fonctionnement d'un étang

Avant de définir si nos étangs sont productifs ou non, il est indispensable de bien comprendre pourquoi est-ce qu'un étang est défini comme productif ou non. Pour ce faire, il est nécessaire de comprendre son fonctionnement.

Une des finalités du programme de recherche SEPURE est, rappelons-le, d'augmenter la production de la filière pisciculture d'étang. Optimiser la production induit d'obtenir un

meilleur rendement piscicole. Au sommet de la chaîne alimentaire, les poissons introduits dans les étangs ont un intérêt particulier pour ceux qui les élèvent. Comme dans tout réseau trophique, les producteurs primaires jouent un rôle indispensable dans la productivité piscicole en étant à la base de ce réseau trophique (Schlumberger & Bouretz, 2002).

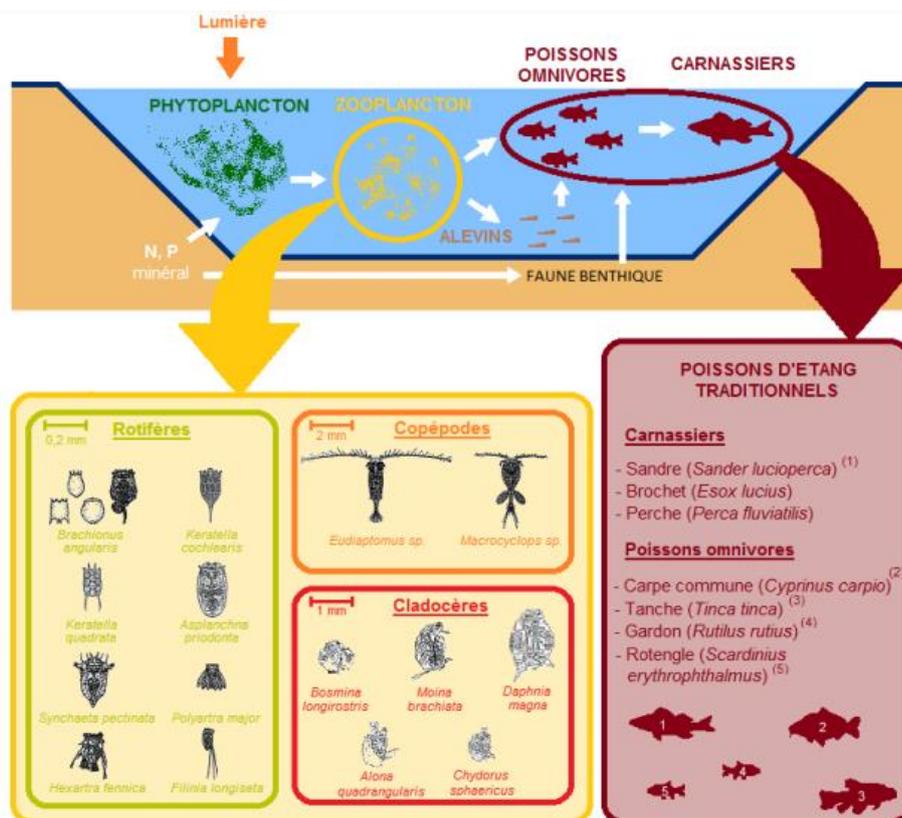
Viennent ensuite les consommateurs primaires, ce sont eux qui se nourrissent de producteurs primaires. Dans les étangs, le zooplancton et les alevins de poissons (selon leur taille) sont des consommateurs primaires. Ceux-ci sont ensuite consommés par les consommateurs secondaires (les poissons omnivores) qui sont eux-mêmes consommés par les consommateurs tertiaires (les poissons carnassiers). Ces deux types de consommateurs symbolisent les poissons d'intérêt pour la pisciculture d'étang. Selon l'espèce de poisson considérée, les préférences alimentaires varient. Il n'en demeure pas moins que le deuxième maillon du réseau trophique, c'est-à-dire le zooplancton, est la source par excellence de nourriture de nos poissons, que ce soit directement ou indirectement.

En somme, le développement du zooplancton dépend de la présence de phytoplancton en termes de qualité, mais aussi en termes de quantité. Dans la *Figure 13*, il est observé que chacun des groupes coexistent ensemble dans le même milieu. Les individus se développent selon deux critères : la quantité de nourriture disponible et la prédation qui est exercée sur l'individu. C'est pour ces raisons que l'objectif principal d'un élevage piscicole est de disposer d'une eau riche en zooplancton qui sera propice à un élevage de qualité. Pour ce faire, il faut commencer par s'assurer que le phytoplancton, premier maillon du réseau trophique est présent en quantité nécessaire pour subvenir aux besoins des maillons supérieurs.

D'après Barbe *et al.* (1999), la production piscicole d'un plan d'eau tel qu'un étang dépend de la richesse du milieu. Cette richesse est composée essentiellement de plancton et est elle-même fonction des apports de fertilisants minéraux. Ce postulat est valide excepté lorsque le poisson d'intérêt est directement nourri avec une nourriture exogène. Il ajoute que « La connaissance de la capacité de production d'un étang de pisciculture est indispensable pour pouvoir le gérer et estimer en cours de saison si l'objectif de production sera atteint compte tenu de la fertilisation pratiquée. Cette production potentielle est la production que devrait avoir un étang empoissonné de manière optimale en quantité et qualité, compte tenu de sa morphologie générale ». Dans notre cas, la production potentielle des étangs a été estimée en amont par les lanceurs du programme SEPURE après la sélection des étangs. Il en a découlé la biomasse totale projetée qui était estimée lors de l'empoissonnement des étangs.

Vous l'aurez compris, la productivité d'un étang passe avant tout par le médium qui le compose, l'eau. La bonne qualité de celle-ci est primordiale d'un point de vue environnementale et écologique mais aussi et surtout, dans notre cas, pour maintenir la production du phytoplancton et *in fine* une bonne productivité piscicole.

Figure 13: Schéma du réseau trophique en place dans un étang à vocation piscicole. Le phytoplancton représente les producteurs primaires alors que le zooplancton représente les consommateurs primaires. Les poissons omnivores et les carnassiers sont respectivement les consommateurs secondaires et tertiaires. Les trois grands groupes de zooplanctons sont détaillés tous comme les différentes espèces de poissons traditionnellement élevées en étang. Schéma tiré de Adam (2013) d'après les travaux réalisés par Schlumberger et Elie (2012) sur l'écologie des espèces de poissons des lacs naturels français.



2.2) Les trois éléments essentiels pour une bonne productivité piscicole

La production piscicole étant directement liée à la production phytoplanctonique, il faut que l'eau de l'étang soit adéquatement composée de calcium, de phosphore et d'azote (Oertli & Frossard, 2013), trois éléments essentiels pour l'équilibre du milieu étang. Les valeurs seuils et les teneurs optimums des paramètres ont été déterminées par le travail réalisé par Schlumberger et Girard (2020).

A) Calcium

Le calcium peut être considéré comme l'élément de base de la biologie piscicole puisqu'il va créer un milieu favorable à la plupart des fonctions vitales des différents organismes vivant dans l'eau. En général, le calcium est un facteur limitant de la production aquatique (Barbe *et al.*, 1999). Le calcium possède un rôle dans la productivité du réseau trophique d'étang très important. La valeur du calcium dans l'eau doit être comprise entre 30 et 50 mg/L. Les données récoltées lors des prélèvements sur le terrain montrent que les étangs L01 et L04 possèdent une concentration de calcium comprise dans la zone optimale, et ce pour chacun des suivis. En revanche, les teneurs en calcium dépassent complètement la zone optimale pour L03 car toutes les mesures sont > 50 mg Ca/L. Dans ce cas de figure précis, il n'est pas nécessaire de pratiquer un chaulage d'entretien, bien au contraire cela reviendrait à rajouter l'élément calcium dans les étangs. En pratique, peu de choses sont possibles pour réduire cette teneur de calcium.

B) Phosphore

La forme assimilable pour les organismes phytoplanctonique est le PO₄. Cette mesure a été analysée lors des prélèvements terrain et est équivalente entre les étangs. L'objectif est

d'atteindre une teneur de 0,3 mg PO₄/L avec une teneur optimale de 0,5 mg/L. Il y a très peu d'orthophosphates dans les trois étangs d'étude et on est loin des teneurs souhaitées. Cependant, bien que les orthophosphates soient la forme la plus courantes de phosphore dans l'eau, il y a une multitude de formes de P dans la colonne d'eau. Ces diverses formes de P finissent cependant par se dégrader en orthophosphates (Vecsernyes *et al.*, 2013). D'après Scheffer (2004) et Vecsernyes *et al.* (2013), il y a une difficulté majeure à mesurer la teneur en orthophosphates dans les étangs. C'est la rapidité de transformation des différentes formes du phosphate qui est mis en cause. Il est vrai que lorsque la réaction du passage d'une molécule à une autre est très rapide et quasiment constante au cours du temps, il est inenvisageable de mesurer une de ces molécules, ici le PO₄. Pour quantifier la quantité de phosphore disponible pour les organismes photosynthétiques, il serait intéressant de quantifier la quantité de phosphore totale dans l'eau.

C) Azote

Les nitrites sont des substance toxique bien connue chez les poissons qui vont venir perturber des fonctions physiologiques et plus particulièrement les processus de régulation ionique, respiratoire, cardiovasculaire, endocrinien et excrétoire. Le transport de l'oxygène dans le sang via l'hémoglobine est compromis à cause de l'accumulation de nitrites qui va venir oxyder l'hémoglobine en méthémoglobine (Kroupova *et al.*, 2005). Les nitrites ne doivent pas dépasser les 0,2 mg/L sous peine d'être fortement toxique pour les poissons comme nous venons de le voir. Dans les étangs lorrains, les nitrites n'ont pas eu d'effet toxique sur les poissons car la teneur en nitrites n'a jamais excédé le seuil de 0,2 mg/L. Cependant, l'étang L01 montre des teneurs au maximum deux fois supérieures à ce qui est préconisé et indique donc que les poissons ont potentiellement souffert de ces fortes concentrations en nitrites. Il en va de soi puisqu'au cours des prélèvements sur le terrain, un total de 7 carpes a été retrouvées mortes et présentaient des blessures visibles plus ou moins grave. Est-ce que les carpes ont succombé à la toxicité élevée induite par les nitrites puis se sont faites dévorées *post-mortem* ?

Il est à noter que l'action toxique des nitrites sur le poisson peut être limitée grâce au calcium en ajoutant du chlorure de calcium CaCl₂ dans les étangs. En parallèle, pour les nitrates, une des deux formes d'azote assimilable pour la végétation aquatique avec l'azote ammoniacal, il n'y a aucun risque de toxicité pour le poisson.

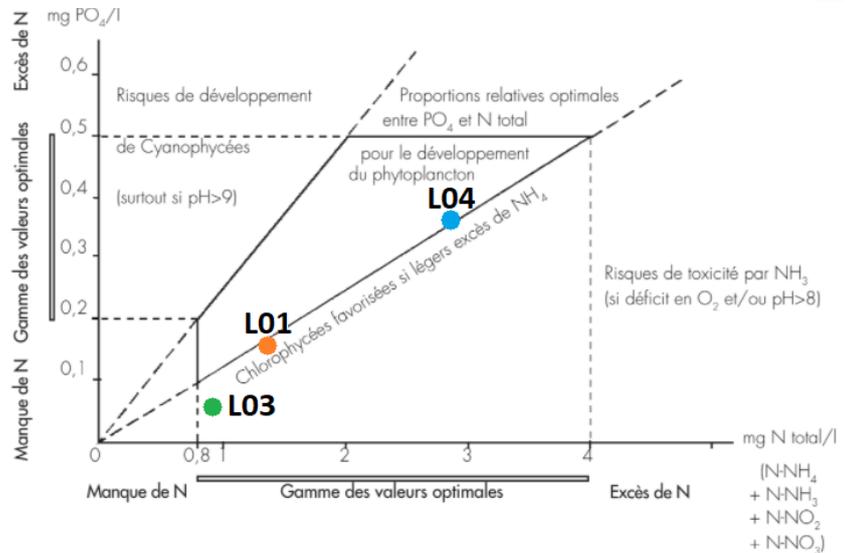
2.3) Le ratio P/N : un indicateur de la productivité des étangs

En combinant le phosphore et l'azote, il apparaît que le développement du phytoplancton est favorisé. Le développement sera encore plus favorisé si les concentrations en P et N sont proportionnelles. Le rapport entre les deux doit être compris entre 1/4 et 1/8 voire 1/10 et la valeur usuelle est de 1/6 (Schlumberger & Girard, 2020). Dans notre cas, les teneurs en PO₄ n'étaient pas suffisantes pour effectuer ces calculs de ratio PO₄/N et le phosphore mesuré dans le compartiment eau a été utilisée. Il en résulte que deux étangs possèdent un ratio correct tandis que le dernier étang possède un ratio bien en dessous de l'optimum. Les valeurs de P et de N sont représentées dans la *Figure 14*.

Les ratios de P/N de l'eau des étangs montrent que les proportions relatives entre le phosphore et l'azote sont optimal pour le développement du phytoplancton pour L01 et L04

avec un ratio de 1/10 et de 1/8 respectivement. Ce qui est vérifié avec les concentrations de chlorophylle mesurées lors des campagnes de prélèvement sur le terrain mais aussi par les relevés du disque de Secchi. En effet, le disque de Secchi permet d'apprécier l'abondance du phytoplancton où la gamme de valeur optimale est comprise entre 30 et 70 cm avec une valeur idéalement autour de 50 cm. C'est le cas pour ces deux étangs où la moyenne de la transparence sur les six prélèvements est de 57,5 et 45,1 cm pour L01 et L04 respectivement. Il en découle alors une bonne productivité biologique étant donné la bonne qualité de l'eau, favorable à la croissance du plancton végétal. Ici, puisque les organismes photosynthétiques sont présents, la photosynthèse et donc la production d'oxygène peut se faire sans obstacle particulier. En effet, la quantité d'oxygène mesurée dans les étangs lors du terrain montre que la teneur en O₂ n'est jamais descendue en dessous de 5mg/L, valeur seuil qui marque l'entrée dans la zone de vigilance.

Figure 14 : Tracé des proportions optimales entre P et N global dans l'eau des étangs. Les ratios des trois étangs sont représentés par un point de couleur verte pour L03 (P/N = 1/1,92), orange pour L01 (P/N = 1/10) et bleu pour L04 (P/N = 1/8). Figure tirée et adaptée de (Schlumberger & Girard, 2020).



En revanche, l'étang L03 présente un ratio P/N égal à 1/1,92 ce qui est bien en deçà de la zone optimale et illustre alors que les proportions entre l'azote et le phosphore ne sont pas optimales. Lorsqu'on regarde la concentration en chlorophylle a dans l'étang, on remarque que les valeurs sont extrêmement basses par rapport aux concentrations en chlorophylle dans les autres étangs. Au niveau de la transparence cette fois, elle a été totale à presque tous les prélèvements, l'eau était très transparente au point de voir distinctement le fond de l'étang le plus profond du programme de recherche. Cette eau très claire est représentative d'un étang dont la transparence est supérieure à 70 cm où la productivité est très faible. Le phytoplancton n'est présent qu'en de faibles quantités. Sur la *Figure 14* le point représenté par le ratio P/N est en limite de la gamme des valeurs optimales de N et reste très faible tandis que la quantité de P est largement en dehors de la gamme des valeurs optimales. Il en découle que l'étang L03 est un étang peu productif où les minéraux présents dans l'eau ne suffisent pas à obtenir une qualité d'eau adéquate pour la croissance du phytoplancton. Cependant, des solutions existent et sont nécessaires afin de rétablir la qualité de l'eau : la fertilisation.

Il serait effectivement intéressant de prendre en considération une fertilisation organique dans l'étang L03. Un rééquilibrage du rapport P/N peut avoir lieu en ajoutant de l'azote seul sous forme fractionnée. Néanmoins, un simple rééquilibrage ne sera pas suffisant dans cet étang. Le problème ne se situe pas dans les proportions de P ou de N mais plus fondamentalement dans la quantité de ces éléments. La fertilisation organique serait un bon moyen de remettre en marche la machine productive que sont les étangs. Lorsqu'on regarde

les analyses de sédiments et notamment la matière organique, on remarque bien que la présence de sédiments végétaux est quasi-nulle comparée aux deux étangs les plus productifs. Cette fertilisation organique fonctionne d'autant plus quand la MO dans les sédiments est très faible.

Il est aussi à mentionner que l'étang L04 possède la plus grande productivité des trois étangs, il n'y a pas de problème en lien avec les teneurs en oxygène, en azote et en phosphore. C'est un étang productif idéal pour une production piscicole. Si tel est le cas, il est normal de se demander pourquoi ? Il s'avère en réalité que l'étang L04 est à proximité, si ce n'est pas dans une ferme. En effet, l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule est entouré de champs de pâture pour les vaches de l'exploitation et donc une très grande fertilisation doit avoir lieu en continue.

3. Comparaison des scénarios de polyculture

3.1) La productivité piscicole fonction de la productivité des étangs

Les espèces ont été introduites dans chaque étang en prenant soin d'échantillonner 100 individus afin de collecter des données morphologiques du type poids et longueur totale. Un nouvel échantillonnage aura lieu lors de la pêche d'étang, c'est-à-dire lorsque les expériences auront pris fin dans les étangs. Ces mesures sont très importantes, voire indispensables pour calculer les performances zootechniques des poissons. Actuellement, seules les mesures prises lors de l'empoissonnement sont disponibles tandis que la pêche d'étang n'a pas encore eu lieu, impossible donc d'obtenir ces données. Dans l'optique où l'on essaie de mesurer les performances de croissance des poissons et de voir si la production a été intéressante, ne pas avoir ces données demeure une vraie problématique. En parallèle, nous aurions pu calculer la biomasse par hectare *de novo* et comparer ensuite les résultats. Les biomasse/ha initiales sont quasiment similaires d'un étang à l'autre, il aurait été simple de différencier les étangs en appréhendant ces mesures. Le calcul de la production ne pouvant se faire, nous ne pouvons que nous baser sur d'autres paramètres pour comparer les assemblages d'espèces en polyculture. Partons du postulat que si la productivité des maillons inférieurs du réseau trophique est forte, les maillons supérieurs ont suffisamment de nourriture pour se développer et croître dans de bonnes conditions. Il en revient à dire que si le phytoplancton, présent en des quantités satisfaisantes croît normalement et subvient aux besoins des consommateurs primaires, nos poissons d'intérêt devraient avoir assez de nourriture pour se développer et par conséquent montrer des performances de croissance optimales. Nous avons vu précédemment quels étangs étaient plus productifs que les autres. À savoir que l'étang L04 démontre la plus grande productivité, suivie de l'étang L01 et seulement après de L03. D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que d'un point de vue de la productivité piscicole, L04 possède un potentiel optimal, L01 un potentiel satisfaisant et L03 un faible potentiel. Indépendamment des espèces de poissons introduites dans les étangs, nous pouvons d'ores et déjà comparer les étangs en fonction de différents principes de gestion et notamment sur la qualité de l'eau.

3.2) L'indice de compatibilité est-il un bon indicateur ?

Si on s'intéresse maintenant aux scénarios de polyculture et à l'indice de compatibilité associé à chacun des étangs.

Il a été calculé que L04 présente un IC très prometteur, c'est en effet le seul scénario qui présente une modalité à fort potentiel. Cependant, un des objectifs d'introduire cet étang dans le programme de recherche est de pouvoir l'utiliser à des fins expérimentales, c'est-à-dire en proposant des scénarios risqués où les espèces mise en commune dans un même plan d'eau ne présente pas au premier abord une compatibilité forte. Il n'en demeure pas moins que les espèces empoissonnées présentent un très fort IC. En effet, l'association de gardon et de rotengle avec du sandre fonctionne en théorie. En pratique, il est reconnu que des espèces de poissons comme le gardon et le rotengle sont très souvent associées et forment un mix de blancs. Ce sont des espèces omnivores avec une consommation majoritaire de plancton et de périphton et peuvent être détritivores (Willot, 2019). On notera que gardon et rotengle peuvent se reproduire et former des hybrides qui sont un frein pour la productivité des étangs car d'une part, ils sont stériles et d'une autre part, ils ont une croissance ralentie par rapport aux parents (Schlumberger & Girard, 2020). Finalement, ces deux espèces en polyculture avec le sandre qui est un carnivore ichtyophage forment un réseau trophique relativement bien équilibré ce qui est relaté dans l'indice trophique calculé (IT = 0,454). En conclusion, l'IC calculé initialement via une méthode développée *in silico* concorde avec la pratique. Dans L01, composé de tanche, carpe commune et de gardon, l'IC calculé est le plus faible des trois étangs. L'IST est de 0 tandis que l'IT est de 0,612 ce qui veut dire qu'il n'y a pas de compétition entre ces espèces pour les proies. Elles n'ont pas le même régime alimentaire mais ces espèces se nourrissent au même endroit, il y a ici une forte compétition pour l'espace. En effet, tanche et carpe étant benthophage, elles se nourrissent toutes deux dans les sédiments quoiqu'à des profondeurs différentes, la carpe fouille jusqu'à 15 cm alors que la tanche va moins profondément et consomme des proies plus petites (Schlumberger & Girard, 2020). Cependant, on notera que la tanche n'entre pas à priori en compétition avec les autres espèces commerciales de poisson d'étang. Pour la polyculture dans L03, l'association des deux espèces de carpes se relève bonne sans grande surprise, la polyculture de carpes étant la polyculture traditionnelle par excellence. La carpe amour est herbivore et consomme des plantes aquatiques alors que comme nous venons de le voir pour L01, la carpe commune est détritivore et benthophage (Thomas *et al.*, 2020). Aucun risque de compétition entre ceux-là. Cependant, l'IST est aussi de 0 et donc le même raisonnement que pour L01 s'applique ici aussi. Cela peut venir du gardon qui chevauche la niche écologique des carpes commune en étant benthophage et des carpes amour en se nourrissant sur des végétaux et du périphton.

Les limites de l'IC sont détaillées ci-dessous. Premièrement, l'IC ne prend pas en compte la biomasse de chaque espèce lors de l'empoissonnement alors que les proportions d'une espèce par rapport à une autre une place importante dans la viabilité de la polyculture sur le long terme. Deuxièmement, la part de l'IT et de l'IST est considérée comme équivalente et ces indices sont au même niveau dans le calcul de l'IC car la moyenne des deux est réalisée pour obtenir l'IC. Cependant, les connaissances sont encore limitées et nous ne savons pas si l'IT ou l'IST représente une plus grande part que l'autre. Il serait intéressant de poursuivre les recherches sur le sujet afin d'appliquer éventuellement une pondération de ces indices dans le calcul de l'IC. Enfin, troisième et derniers points, le calcul de l'IC renseigne sur la bonne faisabilité d'une association d'espèces mais en aucun cas sur la réussite potentielle de cette polyculture dans un étang en particulier. Tous les étangs sont différents et l'IC reste théorique, en pratique il faudrait faire du cas par cas en calculant un IC qui prenne en compte au maximum les facteurs et caractéristiques intrinsèques à chaque étang.

En somme, l'IC reste un bon indice du potentiel d'une polyculture d'espèce piscicole, il lui manque simplement une composante plus appliquée à l'étang en question.

V) Conclusion

Les objectifs de ce stage étaient de réaliser une étude comparative de trois approches de polyculture dans des étangs à vocation piscicole.

Étant impossible de mesurer directement le rendement piscicole en termes de biomasse par hectare à la fin des expérimentations ou tout du moins à mi-parcours. Nous ne pouvons pas comparer les étangs piscicoles sur cette base-là. En revanche, nous pouvons nous intéresser à la productivité des étangs car un étang où la production piscicole est forte est intimement corrélée avec la productivité des étangs au niveau de phytoplancton. D'après ce postulat, la qualité de l'eau est prédominante car elle influe de façon directe sur le bon développement des producteurs primaires et par extrapolation sur les maillons supérieurs du réseau trophique, c'est-à-dire sur les poissons d'intérêt commercial. En se basant là-dessus, les étangs peuvent être comparés sur leur productivité. Il en résulte que l'étang de la ferme expérimentale de la Bouzule (L04) est l'étang de le plus productif des trois, suivi de l'étang des Sœurs-grises (L01) et enfin de l'étang de la Plume (L03). Ce classement peut être expliqué par plusieurs paramètres, d'abord la productivité intrinsèque de chacun des étangs est totalement dépendante de la qualité de l'eau et donc de l'environnement dans lequel il se trouve. Les bassins-versants jouent un rôle prédominant sur ce paramètre qu'est la qualité de l'eau puisque ce sont eux qui vont alimenter les étangs en eau. Étant donné le chemin qu'emprunte l'eau pour arriver jusqu'à l'étang, l'occupation du sol prend ici toute son importance.

Le milieu environnement est le premier paramètre à prendre en compte, tous les étangs possèdent des caractéristiques différentes et sont implantés dans des bassins-versants bien divers. Le classement de la polyculture la plus productive à la moins productive n'est pas en concordance totale avec les IC. La raison est que les IC ne prennent pas en compte le compartiment environnemental relatif au site d'étude. Ce qui revient à dire que si un assemblage d'espèce possède un fort potentiel, cet assemblage est envisageable peu importe l'étang en question. En l'état des choses et compte tenu de la diversité des étangs, ce n'est pas le cas. Il existe une trop grande variabilité au sein de ce compartiment.

Pour finir, il apparaît difficile de comparer des approches de polyculture lorsqu'elles sont réalisées dans des milieux trop différents les uns des autres. Il convient d'une certaine similarité entre les sites d'études en termes d'hydrologie et notamment du bassin-versant, de qualité d'eau, des caractéristiques propres à l'étang comme la superficie ou la profondeur.

Les résultats obtenus à la suite de ce stage sont partiels puisque les rendements piscicoles à la fin des expérimentations ne sont pas connus et ne nous permettent pas de conclure sur le potentiel plus ou moins avéré de ces scénarios de polyculture. Cependant, le stage en lui-même aura tout de même permis de mettre en lumière des points importants qui seront pris en compte pour la suite du programme de recherche SEPURE.

Bibliographie

Adam, M. (2013). Mise en place expérimentale d'une intensification écologique de la pisciculture d'étang. Rennes : Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires, 40p.

Aubin, J., Robin, J., Wezel, A., & Thomas, M. (2017). Agroecological management in fish pond systems. *Agroecological practices for sustainable agriculture: principles, applications, and making the transition*, 355-394.

Barbe, J., Schlumberger, O., & Bouretz, N. (1999). Utilisation du phytoplancton pour estimer la production piscicole potentielle des étangs. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (355), 387-402.

Billard, R. (1980). La polyculture en étang.

Billard, R. (1990, May). Pisciculture en étang et aménagement rural. In *Proc. EIFAC-FAO Symp. on Production Enhancement in Still-Water Pond Culture, Prague*. pp (pp. 467-473).

Blayac, T., Mathé, S., Rey-Valette, H., & Fontaine, P. (2014). Perceptions of the services provided by pond fish farming in Lorraine (France). *Ecological Economics*, 108, 115-123.

Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I., & Corner, R. (2010). Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2897-2912.

Broyer, J., Richier, S., Renaud, C., Riotton-Roux, B., & Vade, J. Y. (2018). Consequences of fish farming demise for bird and odonate species richness in French fishponds. *Revue d'écologie*.

Chopin, T., Robinson, S. M. C., Troell, M., Neori, A., Buschmann, A., & Fang, J. G. (2008). Ecological engineering: multi-trophic integration for sustainable marine aquaculture.

Chuenpagdee, R., Degnbol, P., Bavinck, M., Jentoft, S., Johnson, D., Pullin, R., & Williams, S. (2005). Challenges and concerns in capture fisheries and aquaculture. *Fish for life: interactive governance for fisheries*. Amsterdam University Press, Amsterdam, The Netherlands, 25-40.

Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, 24(2), 95-117.

Cuenca, M. L., Stickney, R. R., & Grant, W. E. (1985). Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effects of interactions among, size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecological modelling*, 27(3-4), 191-206.

FAO (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Four, B. (2017). Effet des étangs de barrage à vocation piscicole sur le fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin dans des contextes environnementaux différents : le cas des étangs de plaine en Lorraine. Thèse de doctorat, Université de Lorraine (FR).

Garlock, T., Asche, F., Anderson, J., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., Ropicki, A., Smith, M. D., & Tveterås, R. (2020). A global blue revolution: Aquaculture growth across regions, species, and countries. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 28(1), 107-116.

Jaeger, C., Roucaute, M., & Nahon, S. (2021). Effects of a lagoon on performances of a freshwater fishpond in a multi-trophic aquaculture system. *Aquatic Living Resources*, 34, 4.

Kroupova, H., Machova, J., & Svobodova, Z. (2005). Nitrite influence on fish: a review. *Veterinarni medicina-praha-*, 50(11), 461.

Laurent, F. (2012). Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Thèse de doctorat, Université du Maine (USA).

Lecocq, T., Benard, A., Pasquet, A., Nahon, S., Ducret, A., Dupont-Marin, K., Lang, I., & Thomas, M. (2019). TOFF, a database of traits of fish to promote advances in fish aquaculture. *Scientific data*, 6(1), 1-5.

Mathis, D., & Mathis, A. (2016). Anciens et nouveaux terroirs d'étangs en Lorraine. *Revue Géographique de l'Est*, 56(1-2).

Michael, R. G. (1969). Seasonal trends in physicochemical factors and plankton of a freshwater fishpond and their role in fish culture. *Hydrobiologia*, 33(1), 144-160.

Naylor, R. L., Hardy, R. W., Buschmann, A. H., Bush, S. R., Cao, L., Klinger, D. H., Little, D. C., Lubchenco, J., Shumway, S. E., & Troell, M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851), 551-563.

Neori, A., Shpigel, M., Guttman, L. & Israel, A. (2017). Development of polyculture and integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Israel: a review. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 69, 20874.

Oertli, B., & Frossard, P. A. (2013). *Mares et étangs : Ecologie, conservation, gestion, valorisation*. PPUR Presses polytechniques.

Pellegrin, J. (1941). La Pisciculture en Étangs. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 21(235), 81-92.

Scheffer, M. (2004). The story of some shallow lakes. In *Ecology of shallow lakes* (pp. 1-19). Springer, Dordrecht.

Schlumberger, O., & Bouretz, N. (2002). Réseaux trophiques et production piscicole en étangs fertilisés (Dordogne, France). *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 15(1), 177-192.

Schlumberger, O., & Girard, P. (2020). *Mémento de pisciculture d'étang : 5e édition mise à jour*. Quae.

Schlumberger, O., & Elie, P. (2008). *Poissons des lacs naturels français : Ecologie des espèces et évolution des peuplements*. Editions Quae.

Smith, M. D., Roheim, C. A., Crowder, L. B., Halpern, B. S., Turnipseed, M., Anderson, J. L., Asche, F., Bourillón, L., Guttormsen, A. G., Khan, A., Liguori, L. A., McNevin, A., O'Connor, M. I., Squires, D., Tyedmers, P., Brownstein, C., Carden, K., Klinger, D. H., Sagarin, R. & Selkoe, K. A. (2010). Sustainability and global seafood. *Science*, 327(5967), 784-786.

Thomas, M., Pasquet, A., Aubin, J., Nahon, S., & Lecocq, T. (2020). When more is more: taking advantage of species diversity to move towards sustainable aquaculture. *Biological Reviews*.

Touchart, L. (2007). *Géographie de l'étang : des théories globales aux pratiques locales* (pp. 228-p). L'Harmattan.

Vanacker, M., Wezel, A., Payet, V., & Robin, J. (2015). Determining tipping points in aquatic ecosystems: The case of biodiversity and chlorophyll α relations in fish pond systems. *Ecological indicators*, 52, 184-193.

Vecsernyes, Z., Robin, J., & Angélibert, S. (2013). *Le milieu physique et sa variabilité* (No. CHAPTER). PPUR.

Willot, P. A. (2019). *Conception d'une méthode d'évaluation des services écosystémiques : application aux étangs piscicoles*. Thèse de doctorat, Agrocampus Ouest Rennes (FR).

Sitographie

FAO (1978). Outline of an Applied Research and Experimental Development Programme for the Latin American Regional Centre for Aquaculture - Polyculture.) [en ligne]. Disponible sur : <http://www.fao.org/3/I5902e/I5902e0b.htm#10.%20polyculture> (consulté le 09/04/2021).

FAO (2005). Profil de la pêche par pays : La République Française. [en ligne]. Disponible sur : http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/fcp/fr/FI_CP_FR.pdf (consulté le 16/03/2021).

MAA (2017). Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation - La pisciculture : production et consommation. [en ligne]. Disponible sur : <https://agriculture.gouv.fr/la-pisciculture-production-et-consommation> (consulté le 15/03/2021).

MEA (2005). Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press*, Washington, DC. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (consulté le 08/04/2021).

Annexe

Annexe 1 : Traits fonctionnels utilisés (en jaune) au travers d'une modélisation dans le calcul d'indice de compatibilité via une méthode *in silico*.

Régime alimentaire	Écologie	Activité	Mesures zootechniques		Descripteurs des organismes	Comportement	Bien-être
Algivore	Alimentation benthique	Diurne	Masse du poisson	Profondeur du corps	Branchiospine	Stratégie coopérative antiprédateur	Fish condition factor
Carnivore	Alimentation pelagique	Nocturne	Longueur totale	Largeur du corps	Foie	Territorialité	
Détritivore			Longueur standard	Nombre d'œufs	Température optimal de croissance	Dispersion active	
Microphagie suspensivore			Longueur de la nageoire pectorale	Diamètre de l'œuf	Présence de parasite	Stratégie grégaire	
Insectivore			Longueur de la nageoire pelvienne	taux de croissance	Dimorphisme sexuel	Stratégie solitaire	
Invertivore			Longueur fourche	Durée de vie	Fusiforme	Chasse et tue	
Nécrophage			Longueur nageoire anale	Taille de la bouche	Couleur hétérogène	Chasse à l'affût	
Omnivore			Profondeur du pédoncule caudale	Diamètre de l'œil	Couleur uniforme		
Oophage			Profondeur de la tête	Taille des proies			
Parasitovore			Longueur de la tête	Ratio taille proies / taille poisson			
Périphytovore							
Phytoplanctivore							
Piscivore							
Zooplanctivore							

Les traits fonctionnels pertinents pour le calcul des indices de compatibilité ont été sélectionnés, c'est-à-dire les traits qui sont susceptibles d'expliquer au mieux l'indice trophique et l'indice spatio-temporelle : le régime alimentaire des poissons (14 niveaux), l'endroit dans l'étang où le poisson va se nourrir (benthique ou dans la colonne d'eau), la période d'activité du poisson (diurne ou nocturne) ainsi que des paramètres zootechniques comme la masse et la longueur des poissons. Les autres traits fonctionnels non-sélectionnés sont soit d'intérêt mineur pour le calcul de l'indice de compatibilité, soit ils sont proxy d'un autre trait fonctionnel déjà sélectionné.

Annexe 2 : Comment passe-t-on des traits fonctionnels aux indices de compatibilité ?

- 1) La première étape est de se rendre sur la méta-base de données Traits OF Fish (TOFF) et d'en extraire les données. Des filtres peuvent être appliqués selon ce que l'on cherche. Ici, une représentation typique d'un jeu de donnée montre que pour une espèce donnée (species) à un stade de vie donnée (stages), le trait fonctionnel en question (traits) présente des valeurs (values) de deux types : catégorielle ou continue. → Nous obtenons une **matrice brute**

species	stages	mea_id	traits	values	Ref
Acipenser ruthenus	Adult	9626	Benthic feeding	Yes	Fieszl, J., Kapusta, A., Martyniak, & A. (2011) Feedin
Acipenser ruthenus	Adult	9625	Benthic feeding	Yes	Fieszl, J., Kapusta, A., Martyniak, & A. (2011) Feedin
Acipenser ruthenus	Adult	9624	Benthic feeding	Yes	Fieszl, J., Kapusta, A., Martyniak, & A. (2011) Feedin
Acipenser ruthenus	Adult	9623	Benthic feeding	Yes	Fieszl, J., Kapusta, A., Martyniak, & A. (2011) Feedin
Acipenser ruthenus	Adult	9622	Benthic feeding	Yes	Fieszl, J., Kapusta, A., Martyniak, & A. (2011) Feedin
Acipenser ruthenus	Juvenile	4136	Pelagic feeding	Yes	KozÁowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Sz
Acipenser ruthenus	Juvenile	4140	Pelagic feeding	Yes	KozÁowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Sz
Acipenser ruthenus	Juvenile	5253	Total length (mean)	151	Mamedov, C. A., Hajiyev, R. V., & Huseynli, S. V. (20
Acipenser ruthenus	Juvenile	258	Total length (mean)	205	KozÁowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Sz
Acipenser ruthenus	Juvenile	253	Total length (mean)	214	KozÁowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Sz
Acipenser ruthenus	Juvenile	5244	Total length (mean)	416	Akbulut B., Feledi T., Lengyel S., & Ronyai A. (2013)
Acipenser ruthenus	Juvenile	5249	Total length (mean)	404	Akbulut B., Feledi T., Lengyel S., & Ronyai A. (2013)
Acipenser ruthenus	Adult	14310	Total length (mean)	612	Barulin, N. (2018) Scute structure reveals sex of juv
Acipenser ruthenus	Juvenile	5240	Total length (mean)	412	Akbulut B., Feledi T., Lengyel S., & Ronyai A. (2013)
Acipenser ruthenus	Juvenile	14312	Total length (mean)	70,3	Barulin, N. (2018) Scute structure reveals sex of juv
Acipenser ruthenus	Juvenile	5258	Total length (mean)	164	Mamedov, C. A., Hajiyev, R. V., & Huseynli, S. V. (20
Acipenser ruthenus	Juvenile	259	Total length (Standard deviat	30	KozÁowski M., Szczepkowski M., Wunderlich K., Sz
Acipenser ruthenus	Juvenile	5250	Total length (Standard deviat	23	Akbulut B., Feledi T., Lengyel S., & Ronyai A. (2013)

2) Passage d'une matrice brute à une **matrice transformée**. Pour ce faire il est nécessaire de transformer les données extraites de TOFF. Dans le cas des valeurs catégorielles (Oui / Non), la transformation de la matrice s'appuie sur un codage flou, il suffit de donner une valeur binaire à chacune des catégories → Oui = 1 et Non = 0. Pour les valeurs continues, nous faisons la moyenne de toutes les valeurs de ce trait pour une espèce donnée à un stade de vie donnée.

Matrice brute						
species	stage	Invertivore	Benthic feeding	Pelagic feeding	Total length	SD Total length
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult	Yes				
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Juvenile		Yes			
Acipenser ruthenus	Juvenile		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Adult		Yes			
Acipenser ruthenus	Juvenile			Yes		
Acipenser ruthenus	Juvenile			Yes		
Acipenser ruthenus	Juvenile				214	
Acipenser ruthenus	Juvenile				205	
Acipenser ruthenus	Juvenile				412	
Acipenser ruthenus	Juvenile				416	
Acipenser ruthenus	Juvenile				404	
Acipenser ruthenus	Juvenile				151	
Acipenser ruthenus	Juvenile				164	
Acipenser ruthenus	Adult				612	
Acipenser ruthenus	Juvenile				70,3	
Acipenser ruthenus	Juvenile					40
Acipenser ruthenus	Juvenile					30
Acipenser ruthenus	Juvenile					17,7
Acipenser ruthenus	Juvenile					27,7
Acipenser ruthenus	Juvenile					23
Acipenser ruthenus	Juvenile					8
Acipenser ruthenus	Juvenile					10
Acipenser ruthenus	Adult					2,3
Acipenser ruthenus	Juvenile					3,6

Matrice transformée par codage flou + calcul de moyenne							
species	stage	Invertivore	Benthic feeding	Pelagic feeding	Mean TL	TL - SD	TL + SD
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult	1					
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Juvenile		1				
Acipenser ruthenus	Juvenile		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Adult		1				
Acipenser ruthenus	Juvenile			1			
Acipenser ruthenus	Juvenile			1			
Acipenser ruthenus	Juvenile				214	174	254
Acipenser ruthenus	Juvenile				205	175	235
Acipenser ruthenus	Juvenile				412	394,3	429,7
Acipenser ruthenus	Juvenile				416	388,3	443,7
Acipenser ruthenus	Juvenile				404	381	427
Acipenser ruthenus	Juvenile				151	143	159
Acipenser ruthenus	Juvenile				164	154	174
Acipenser ruthenus	Adult				612	609,7	614,3
Acipenser ruthenus	Juvenile				70,3	66,7	73,9

Dans le cas où des données sont manquantes, nous pouvons aller chercher l'information dans une autre base de données tel que Fishbase par exemple ou bien directement dans un article.

Par exemple, pour le trait fonctionnel « invertivore » nous avons six Oui puis six 1 (car Oui = 1) pour *Acipenser ruthenus* au stade adulte. Sur un total de 22 informations recensés sur le régime alimentaire de cette espèce au stade adulte, les 6 données sur les 22 représente 0,27. Il faut maintenant transformer cette valeur en % à l'aide de la deuxième étape du codage flou. La matrice est maintenant agrégée.

4) R Studio

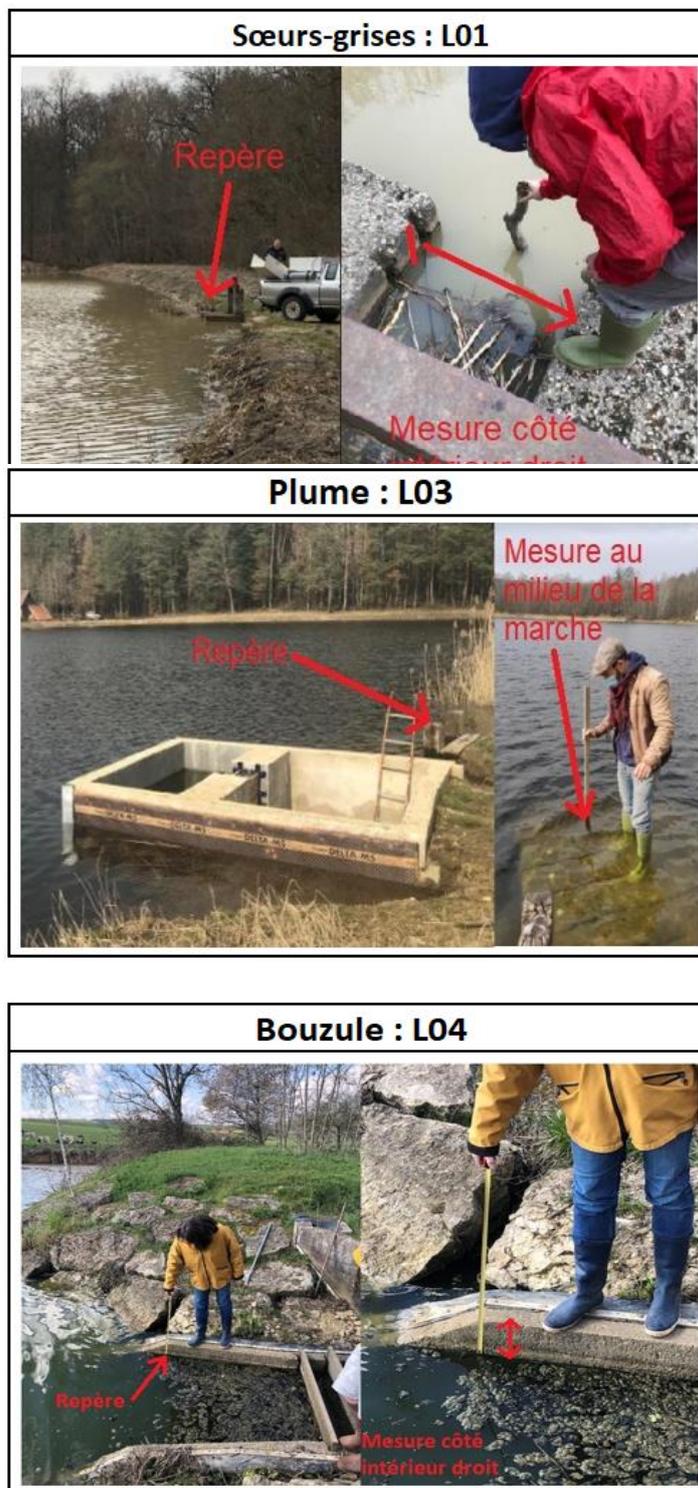
La prochaine étape est d'importer cette matrice dans un logiciel de traitement statistique. Le développement d'un code informatique a permis le passage d'une matrice agrégée en une matrice de distance allant de 0 à 1 et qui mesure les interactions entre paires d'espèces. Grâce au codage nous pouvons extraire les matrices de distances de l'indice spatio-temporel et de l'indice trophique.

5) Calcul de l'IC

Il suffit maintenant de calculer l'indice de compatibilité en faisant la moyenne de l'IST et de l'IT de chacune des espèces. Ce calcul permet de renseigner de façon théorique de la faisabilité de l'association de ces espèces en polyculture.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Abramis.brama.A	Abramis.brama.J	Acipenser.baerii.J	Acipenser.ruthenus.A	Acipenser.ruthenus.J	Acipenser.sturio.A
2	Abramis brama A	0	0,451222442	0,222278627	0,102674065	0,685613844	0,336853746
3	Abramis brama J	0,451222442	0	0,389497643	0,486838546	0,769054086	0,613009787
4	Acipenser baerii J	0,222278627	0,389497643	0	0,302525999	0,686109793	0,427211488
5	Acipenser ruthenus A	0,102674065	0,486838546	0,302525999	0	0,704079903	0,31002035
6	Acipenser ruthenus J	0,685613844	0,769054086	0,686109793	0,704079903	0	0,767647695
7	Acipenser sturio A	0,336853746	0,613009787	0,427211488	0,31002035	0,767647695	0
8	Acipenser sturio J	0,157633999	0,364869016	0,143677577	0,186949759	0,72610444	0,317515135
9	Acipenser transmontanus J	0,412414299	0,544941658	0,466758486	0,405437173	0,785030931	0,468815065
10	Alburnus alburnus A	0,395797107	0,415026294	0,3261719	0,406573563	0,775339472	0,436160078
11	Alburnus alburnus J	0,304885424	0,320208473	0,170992887	0,369768138	0,696979596	0,516307544
12	Alosa alosa A	0,29173234	0,434831	0,303814326	0,298046882	0,528873127	0,356817831
13	Alosa alosa J	0,292157519	0,351743267	0,187640667	0,365910434	0,696449765	0,502920786
14	Alosa fallax A	0,251575503	0,393445448	0,248590479	0,271664481	0,692082554	0,332200253
15	Alosa fallax J	0,327384474	0,285884811	0,192686214	0,383630141	0,724084252	0,420509876
16	Ameiurus melas A	0,303959856	0,483619018	0,275010416	0,31113774	0,77577604	0,214544957
17	Ameiurus melas J	0,334871697	0,435290657	0,39797192	0,353270567	0,744384436	0,598040946
18	Anguilla anguilla A	0,34685747	0,416192834	0,339677372	0,341775333	0,731378528	0,340230843
19	Anguilla anguilla J	0,196022109	0,38888233	0,183306058	0,245760907	0,682729223	0,364421839
20	Blicca bjoerkna A	0,242588282	0,415112831	0,231399486	0,297432409	0,661188322	0,430263885
21	Blicca bjoerkna J	0,167200985	0,445799205	0,215651992	0,169583437	0,756189338	0,272230063
22	Carassius auratus A	0,192922542	0,429701538	0,208527272	0,231614838	0,730364474	0,358017904

Annexe 3 : Photographies de chaque étangs (L01, L03 et L04) permettant de déterminer le point fixe où le suivi du niveau d'eau a été effectué. Ces mesures ont été prises au niveau de la digue à l'endroit pointé par la flèche rouge. ©Jésabel Lathier



Annexe 4 : Calendrier des suivis réalisés sur les étangs lorrains.

(code étang : L01, étang des Sœurs-grises ; L03, étang de la Plume ; L04, étang de la ferme expérimentale de la Bouzule). Plusieurs paramètres ont été mesurés en continu lors des prélèvements sur terrain, seulement certains d'entre eux ont pu être exploités durant ce stage.

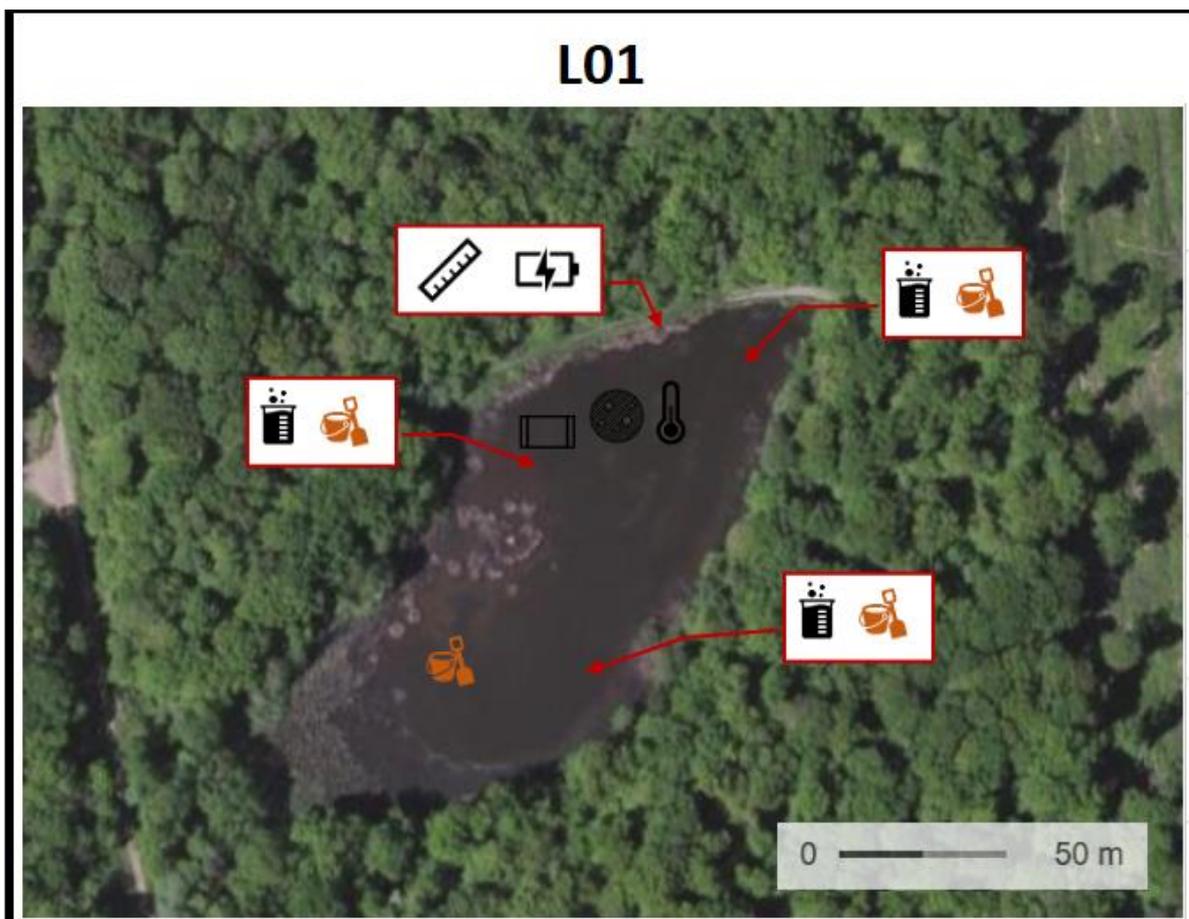
		Empoisonnement					Tournée 10 au 11 Mai			Tournée 25 au 26 Mai			Tournée 07 au 08 Juin			
		L01	L03	L04		L01	L03	L04	L01	L03	L04	L01	L03	L04		
Mesures biologiques	Biométrie poissons	10/03/2021	04/03/2021	16/04/2021	19/03/2021	27/04/2021										
	Zooplancton						10/05/2021	11/05/2021	10/05/2021	25/05/2021	26/05/2021	25/05/2021	07/06/2021	08/06/2021	08/06/2021	
	Phytoplancton															
	Invertébrés															
	Périphyton (biofilm)															
	Macrophytes										25/05/2021	26/05/2021	25/05/2021			
Suivi hydrobiologique		Niveau d'eau	10/03/2021	04/03/2021	16/04/2021	19/03/2021	27/04/2021	10/05/2021	11/05/2021	10/05/2021	25/05/2021	26/05/2021	25/05/2021	07/06/2021	08/06/2021	08/06/2021
Suivi de la qualité de l'eau	Paramètres physico-chimiques	Température (eau)														
		Conductivité														
		pH														
		Oxygène dissous														
	Disque de Secchi	Transparence														
	Concentration en nutriment et chlorophylle	Phosphore (P) (QR)														
		PO4 (QR)														
		Pack Azote Global (NTK,NO2,NO3)														
		Ammonium (QR)														
		Chlorophylle a (IX)														
Carbone Organique total (COT)																
	Carbone Organique dissous (COD)															
	Calcium															
	Silicates															
Analyse du sédiment	pH															
	Matière organique totale															
	Azote															
	Phosphore															
	Calcium															

															Pêche		
Tournée 21 au 22 Juin			Tournée 05 au 06 Juillet			Tournée 19 au 20 Juillet			Tournée du 24 au 26 Août			Tournée du 20 au 21 septembre			L01	L03	L04
L01	L03	L04	L01	L03	L04	L01	L03	L04	L01	L03	L04	L01	L03	L04			
21/06/2021	22/06/2021	21/06/2021	05/07/2021	06/07/2021	05/07/2021	19/07/2021	20/07/2021	19/07/2021	24/08/2021	25/08/2021	26/08/2021	20/09/2021	21/09/2021	20/09/2021			
21/06/2021	22/06/2021	21/06/2021							Suivi macrophytes								
21/06/2021	22/06/2021	21/06/2021	05/07/2021	06/07/2021	05/07/2021	19/07/2021	20/07/2021	19/07/2021	24/08/2021	25/08/2021	26/08/2021	20/09/2021	21/09/2021	20/09/2021			
21/06/2021	22/06/2021	21/06/2021	05/07/2021	06/07/2021	05/07/2021	19/07/2021	20/07/2021	19/07/2021	24/08/2021	25/08/2021	26/08/2021	20/09/2021	21/09/2021	20/09/2021			
21/06/2021	22/06/2021	21/06/2021	05/07/2021	06/07/2021	05/07/2021	19/07/2021	20/07/2021	19/07/2021	24/08/2021	25/08/2021	26/08/2021	20/09/2021	21/09/2021	20/09/2021			

Annexe 5 : Point de prélèvement des différentes mesures prises lors des suivis sur le terrain selon chaque étang où L01 : étang des Sœurs-grises ; L03 : étang de la Plume et L04 : étang de la ferme expérimentale de la Bouzule. L'emplacement du suivi est indiqué même si les données n'ont pas été exploitées durant ce stage.

Légende :

	Point de suivi hauteur d'eau		Point de suivi transparence
	Point de suivi O2/pH/conductivité		Point de prélèvement eau
	Point de suivi température (dataloggeurs)		Points de prélèvements sédiments
			Suivi biofilm





Diplôme : Master de l'institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
Spécialité : SML - Biologie
Spécialisation / option : Sciences Halieutiques et Aquacoles / AQUA
Enseignant référent : Bastien SADOUL

Auteur(s) : Jésabel LAITHIER

Date de naissance* : 31/01/1998

Nb pages : 37 Annexe(s) : 5

Année de soutenance : 2021

Organisme d'accueil : UR AFPA

Adresse : Faculté des Sciences et Technologies
Université de Lorraine
Campus des Aiguillettes
B.P 70239
54506 Vandœuvre-lès-Nancy Cédex

Maître de stage : Marielle THOMAS & Thomas LECOCQ

Titre français : Les pratiques agroécologiques dans les étangs à vocation piscicole : approche comparative de trois scénarios de polyculture

Titre anglais : Agroecological practices in fish pond systems: comparative study of three approaches of polyculture

Résumé (1600 caractères maximum) :

Un agroécosystème est composé de deux volets bien distincts : le système écologique et le système socio-économique. C'est la jonction entre ces deux systèmes qui forme l'agroécosystème. Les pratiques piscicoles et plus particulièrement les pratiques d'empoissonnement qu'ont les gérants des étangs peuvent faire pression tel un levier sur l'agroécosystème. En effet, la combinaison de différentes espèces introduites dans un étang en polyculture est un levier important sur lequel les gérants peuvent agir. Pour comprendre l'ampleur et l'intérêt du choix des espèces introduites, une étude comparative de trois approches de polyculture a été réalisée dans des systèmes de production en étang. Ici, l'objectif est de comprendre comment différents paramètres évoluent et peuvent influencer l'agroécosystème étang au travers d'une pratique de gestion comme le choix de l'association entre plusieurs espèces en polyculture. Un total de trois étangs a été utilisé dans le but de réaliser ces expériences scientifiques où différents assemblages d'espèces ont d'abord été modélisés avant que celles-ci ne soient introduites dans les étangs.

Abstract (1600 caractères maximum) :

An agroecosystem is constituted of two distinct components: the ecological system and the socio-economic system. It is the junction between these two systems that forms the agroecosystem. Fish farming practices, and more particularly the stocking practices of pond managers, can act as a lever on the agroecosystem. Indeed, the combination of different species introduced in a polyculture pond is an important lever on which managers can act. To understand the extent and interest of the choice of introduced species, a comparative study of three polyculture approaches in pond production systems was conducted. Here, the objective is to understand how different parameters evolve and can influence the pond agroecosystem through a management practice such as the choice of multispecies association in polyculture. A total of three ponds were used in order to perform these scientific experiments where different species assemblages were first modeled before they were introduced into the ponds.

Mots-clés : Agroécosystème ; Polyculture ; Poisson ; Étang ; Indice de compatibilité ; Productivité

Key Words: Agroecosystem; Polyculture; Fish; Pond; Compatibility index; Productivity