



POLYTECH[®]
TOURS

Département
Aménagement et Environnement

- PFE – 2023



citeres
UMR 7324

Projet de Fin d'Études (PFE) 2022-2023

Analyse du phytoplancton de la Loire à l'aide des groupes fonctionnels



Sous la direction de Sabine Greulich

Malo Levenez

Analyse du phytoplancton de la Loire à l'aide des groupes fonctionnels

Sabine Greulich

Malo LEVENEZ

2024

Avertissement

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

Remerciements

Je remercie tout d'abord ma tutrice de PFE, Sabine Greulich, qui m'a accompagné dans mes recherches et dans mes questionnements. Je remercie également l'école Polytech Tours et plus particulièrement le Département Aménagement et Environnement pour cette opportunité. Je remercie finalement tous les acteurs du projet BPO Loire qui ont réalisés, le jeu de donnée que j'analyse dans cette étude, mais également tous les travaux et documents produits sur cette base, qui m'ont largement inspirés pour la rédaction de ce PFE.

Table des matières

Avertissement	3
Remerciements	6
Abréviations	10
Introduction	11
Contexte de l'étude	13
Matériels et méthodes	14
1. Données phytoplanctoniques.....	14
2. Groupes fonctionnels	14
a. Groupes fonctionnels de Reynolds	14
b. Groupes morpho-fonctionnels de Kruk et al.	15
c. Groupes morpho-fonctionnels de Salmaso et Padisak	15
3. Traitement de donné.....	16
Résultats.....	17
1. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Reynolds	17
A. Chenal	17
B. Annexe.....	19
2. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Kruk et al.	21
3. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Salmaso et Padisak	24
Discussion.....	25
1. Objectifs de base et objectifs atteints.....	25
2. Interprétation du jeu de donnée	25
3. Pertinence des MBFGs pour l'analyse des deux types de milieux.....	25
4. Pertinence des FGs dans l'analyse du jeu de donnée	26
Conclusion et ouverture	28
Bibliographie	29

Annexe 1 : Traitement des données taxonomiques	31
Annexe 2 : Attribution des taxons aux groupes fonctionnels	32

Abréviations

RFGs : Reynolds Functionnal Groups (Groupes Fonctionnels de Reynolds)

MFGs : Morpho-Functionnal Groups (Groupes morpho-fonctionnels) : Groupes fonctionnels de Salmaso et Padisak

MBFGs : Morphologically Based Functionnal Groups (Groupes fonctionnels basés sur la morphologie) : Groupes fonctionnels de Kruk et al.

BPO : Biodiversité Protocole Outil

PFE : Projet de Fin d'étude

Introduction

La Loire, fleuve emblématique de la France, offre un riche terrain d'étude scientifique en raison de sa diversité écologique, géologique et hydrologique. S'étirant sur plus de 1 000 kilomètres, et drainant environ 117 000 km² (Moatar & Dupont, 2016), la Loire prend sa source dans le Massif central, au Mont Gerbier-de-Jonc, et traverse 6 régions avant de se jeter dans l'Atlantique près de Saint-Nazaire. Sur le plan hydrologique, la Loire présente des caractéristiques uniques. Elle est le plus long fleuve de France et l'un des mieux conservés d'Europe, avec des tronçons non canalisés, offrant un écosystème fluvial relativement préservé, et impact anthropique modéré (Abonyi et al., 2014). Sa vaste étendue, marquée par des variations saisonnières de débit, influence directement les écosystèmes aquatiques et terrestres qui la bordent. La biodiversité de la Loire est remarquable, abritant une variété d'espèces végétales et animales adaptées à des conditions allant des milieux montagnards aux plaines alluviales. Les zones humides jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique du fleuve, fournissant des habitats essentiels pour de nombreuses espèces. Cependant, la Loire est également confrontée à des défis environnementaux, notamment la régulation des débits, la pollution et la perte d'habitats naturels. Les efforts de préservation et de restauration sont essentiels pour maintenir l'intégrité écologique du fleuve et assurer la durabilité des écosystèmes qui en dépendent.

Les microorganismes photosynthétiques, en tant que composantes essentielles des écosystèmes aquatiques, jouent un rôle fondamental dans le maintien de l'équilibre écologique des cours d'eau et de leurs zones riveraines. Ces organismes microscopiques, principalement composés de diatomées, de cyanobactéries et de chlorophytes, le plus souvent, sont à la base de la chaîne alimentaire aquatique. Les microalgues, par le biais de la photosynthèse, captent le dioxyde de carbone et libèrent de l'oxygène, contribuant ainsi à l'oxygénation des eaux. Leur présence est cruciale pour la santé des écosystèmes alluviaux, car elles fournissent une source primaire de nourriture pour de nombreuses espèces aquatiques, telles que les invertébrés et les poissons. En outre, le phytoplancton et les microalgues participent activement à la filtration de l'eau en absorbant des nutriments, contribuant ainsi à maintenir une qualité de l'eau adéquate. Leur biomasse fluctuante reflète souvent les variations saisonnières et les conditions environnementales, offrant des indicateurs précieux de la santé écologique des écosystèmes alluviaux. La variabilité des conditions hydrologiques

et environnementales le long du cours de la Loire influe sur la distribution spatio-temporelle du phytoplancton, créant des niches écologiques spécifiques.

Pour analyser la composition du phytoplancton, il existe plusieurs approches. La première approche est l'analyse taxonomique classique, en regardant la répartition des différents taxons, et leur abondance par famille, genre, espèce. Cette approche a déjà été réalisée dans le cadre du projet BPO Loire. Le projet BPO Loire est un projet porté par Sabine Greulich, enseignante-chercheuse, dont le but est de déterminer l'impact de certains facteurs environnementaux sur la composition de la biodiversité ligérienne. Pour ce faire, il est testé un protocole de suivi adapté aux enjeux de la Loire et de sa faune et sa flore. Les organismes ciblés sont les phytoplanctons, la végétation vasculaire, les macro-invertébrés aquatiques et les arthropodes terrestres. La composition des échantillons analysés est ensuite couplée aux données physico-chimiques des milieux. Le projet prévoit ensuite la mise en place d'outils d'aide à l'analyse et à l'interprétation statistique des données, spécifique aux milieux ligériens. Les suivis sont réalisés sur trois sites de la Loire disposés sur le chenal principal ainsi qu'un site qualifié d'ancien bras. Les données ont été récoltées sur trois années de 2018 à 2020.

Le but de cette étude est de réaliser une nouvelle fois une analyse du phytoplancton mais cette fois-ci par les groupes fonctionnels. Ces regroupements de phytoplancton permettent une approche fonctionnelle, ne se basant pas uniquement sur la taxonomie classique, mais plutôt sur le rôle de l'organisme dans son habitat. Les groupes fonctionnels se basent donc sur des caractéristiques morphologiques ou fonctionnelles des phytoplanctons. Différentes classifications fonctionnelles existent déjà. Les plus connues, déjà abordées dans la première partie de cette étude (Levenez, 2023), sont les groupes fonctionnels de Reynolds (Reynolds et al., 2002), les groupes morpho-fonctionnels (Salmaso et al., 2015) et les groupes fonctionnels basés sur la morphologie de (Kruk et al., 2010). Les questions posées auxquelles nous essaierons de répondre sont : Comment se répartissent les différents groupes fonctionnels en annexe hydrologique et dans la Loire durant les années 2018-2020 ? Qu'apporte cette approche par rapport à l'analyse taxonomique classique ? Existe-t-il un groupe fonctionnel plus pertinent dans l'analyse du phytoplancton ligérien ?

Contexte de l'étude

Ce rapport final de PFE (Projet de Fin d'Étude) s'inscrit tout d'abord dans la continuité d'une première étude pour ce PFE (Levenez, 2023). De manière plus générale, cette recherche fait partie intégrante du projet BPO Loire dirigé par Sabine Greulich, enseignante-chercheuse et superviseuse de ce Projet de Fin d'Études (PFE). Le projet BPO Loire a pour objectif l'élaboration d'un protocole de surveillance des milieux aquatiques destiné aux gestionnaires de ces environnements spécifiques. On y trouve différents relevés, d'une part aquatiques, avec l'analyse du phytoplancton, des macrophytes aquatiques et des invertébrés benthiques, mais aussi terrestres, avec l'étude des plantes vasculaires, des coléoptères *Carabidae* et des araignées. L'analyse du phytoplancton a déjà fait l'objet de plusieurs travaux, notamment les bilans annuels rédigés par *Maria Leitao* (Leitao, 2021), ainsi que le rapport de stage de *Salomé Dittiere* (Dittiere, 2021), qui nous servent également à rédiger cette étude.

La présente étude se porte sur différentes données récoltées pour le projet BPO Loire, notamment une analyse taxonomique pour le phytoplancton, ainsi que des données physico-chimique. Une analyse de ces taxons a permis de mettre en lumière une prépondérance conséquente des Chlorophycées et des Diatomées, autant en nombre de taxons présent qu'en biomasse. On peut lire dans le rapport annuel de l'analyse du phytoplancton : « Finalement, nous pouvons résumer en soulignant que le phytoplancton se développe surtout en été grâce aux Chlorophycées, mais qu'en raison de la forte participation de grosses diatomées benthiques au printemps, ce sont celles-ci qui créent le pic de biomasse. » (Leitao, 2021). Une information également importante est que l'année 2020 voit une différence importante se créer avec le chenal et l'annexe, due à une variation importante du phytoplancton de l'annexe.

Un autre document de référence est une étude portant sur l'analyse du phytoplancton de la Loire à l'aide des groupes fonctionnels (Abonyi et al., 2014). Leurs résultats nous ont déjà conduits à sélectionner les 3 groupes fonctionnels qui seront utilisés pour l'analyse fonctionnelle du phytoplancton de nos échantillons. Le but de cette étude était de zoner la Loire selon les groupes fonctionnels. Après l'application des trois méthodes, il a été mis en évidence que les RFGs et les MFGs ont permis une approche spatio-temporelle quantitative des communautés phytoplanctoniques, là où les MBFGs n'ont permis que l'analyse partielle de certaines zones de la Loire aval.

Matériels et méthodes

1. Données phytoplanctoniques

Les relevés phytoplanctoniques utilisés dans cette étude sont ceux réalisés dans le cadre du projet BPO Loire. Les deux stations de relevés, sont toutes deux situées à Beaugency, commune du Loiret dans la région Centre-Val de Loire. Elles sont définies comme :

- Le chenal : chenal principal de la Loire, en aval du pont de la D925, rive gauche.
- L'annexe : annexe hydraulique constitué par un ancien bras en eau, partiellement connecté au chenal dans le temps.

Les échantillons sont constitués de prélèvement de 500mL d'eau récupérés sur les sites d'études et fixés au Lugol pour analyse ultérieur. Les échantillonnages ont été réalisés sur trois années consécutives, de 2018 à 2020, à fréquence bimensuelle à hebdomadaire sur la période de végétation donc de mi-Mars à fin Octobre.

Tableau 1 : Nombre d'échantillonnages par habitat (annexe et chenal)

Année	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
2018			1	1	4	4	3	3
2019	1	3	2	2	5	3	3	1
2020	2	2	2	2	4	4	2	2

Les résultats sont ensuite compilés dans un tableur excel, comprenant les taxons identifiés ainsi que leur abondance, en cellule/mL et en $\mu\text{g/mL}$ ainsi que toutes les données sur les échantillons correspondants.

2. Groupes fonctionnels

a. Groupes fonctionnels de Reynolds

Pour classer les taxons des échantillons dans les groupes fonctionnels de Reynolds (Reynolds et al., 2002) a servi comme référence. Il y définit les taxons caractéristiques des groupes fonctionnels, dont la précision varie de la famille à l'espèce. Il existe dans cette classification 31 groupes dans sa version originale, mais on peut trouver d'autres version retravaillés et plus spécifiques à certains usages. Nous utiliserons la première version, donc la plus simplifiée et la plus générale. À chaque groupe fonctionnel est attribuée une « sensibilité » correspondant

aux caractéristiques du milieu auxquelles les espèces du taxon sont sensibles, ainsi qu'une « tolérances » correspondant à l'inverse aux caractéristiques qu'elles supportent bien. On attribue aux groupes fonctionnels un codon représenté par une ou deux lettres qui peuvent être numérotées (ex : J, X1, Lm). Ces codons sont attribués, à l'origine, par arrivé chronologique au cours des saisons. Cette base a ensuite évolué en spécifiant des grands embranchements comme pour les diatomées (D), mais également des rôles similaires, comme les groupe H1 et H2, tous deux lié aux phytoplancton fixant le diazote. On trouve également un habitat typique des espèces représentatives des groupes fonctionnels.

b. Groupes morpho-fonctionnels de Kruk et al.

La méthode de classification est la même que pour les RFGs, avec une table des taxons représentatifs (Kruk et al., 2010). Il existe 7 groupes fonctionnels numérotés de I à VII. Les groupes morpho-fonctionnels de Kruk et al. se basent sur certains traits caractéristiques comme :

- La présence de flagelles : appendice permettant la motilité
- La présence de structure siliceuse : structure squelettique de certains phytoplancton
- La taille du MLD (Maximum Linear Dimension)
- La présence de mucilage : substance visqueuse protectrice
- La présence de vacuole : organe de gaz permettant notamment la flottabilité
- Le Volume et le volume ratio (Surface/Volume)

Ces caractéristiques confèrent aux phytoplanctons certaines capacités, préférences, tolérances et sensibilité. C'est pourquoi elles ont été choisies pour déterminer le rôle du phytoplancton dans le milieu (Kruk et al., 2010).

c. Groupes morpho-fonctionnels de Salmaso et Padisak

Comme pour les autres groupes fonctionnels, cette méthode se base sur certains traits morpho-fonctionnels des phytoplanctons (Salmaso & Padisák, 2007). Le premier critère de différenciation est la motilité, donc la présence ou non de flagelles. On va ensuite affiner la classification avec les embranchements du phytoplancton, comme les diatomées ou les cyanobactéries, puis selon l'embranchement, un autre critère déterminant, comme par exemple pour les diatomées, si elles sont centriques ou pénales. Pour finir, la taille est généralement le dernier critère de classification, avec les « petites » cellules ou colonies (<30-

40 μm) et les « grandes » (>30-40 μm). Dans la partie résultats nous verrons que cette technique est particulièrement complexe à mettre en place.

3. Traitement de donné

Pour traiter les données, nous avons tout d'abord assigné un groupe fonctionnel aux taxons représentatifs dans le tableur Excel, voir Annexe 2. On additionne ensuite le nombre de taxons ainsi que l'abondance (en cellule/ μL) pour chaque groupe fonctionnel.

Pour l'analyse, on utilisera souvent le terme « nombre de taxons ». Ce terme correspond à la quantité de taxons attribués à un groupe fonctionnel. Cependant un taxon, dans notre analyse, correspond à une espèce pour un échantillon. Si une espèce se retrouve plusieurs fois dans les échantillons, elle comptera le double dans la « nombre de taxons ». Ainsi, un groupe fonctionnel peut-être représenté par une seule espèce, mais posséder un « nombre de taxons » très élevé. Également, un groupe fonctionnel peut-être représenté par un grand nombre d'espèces dont la présence est très régulière. On se permet cette approximation dans cette étude car on analyse les groupes fonctionnels et non les espèces, ainsi, deux espèces différentes appartenant au même groupe fonctionnel auront la même valeur.

Résultats

1. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Reynolds

A. Chenal

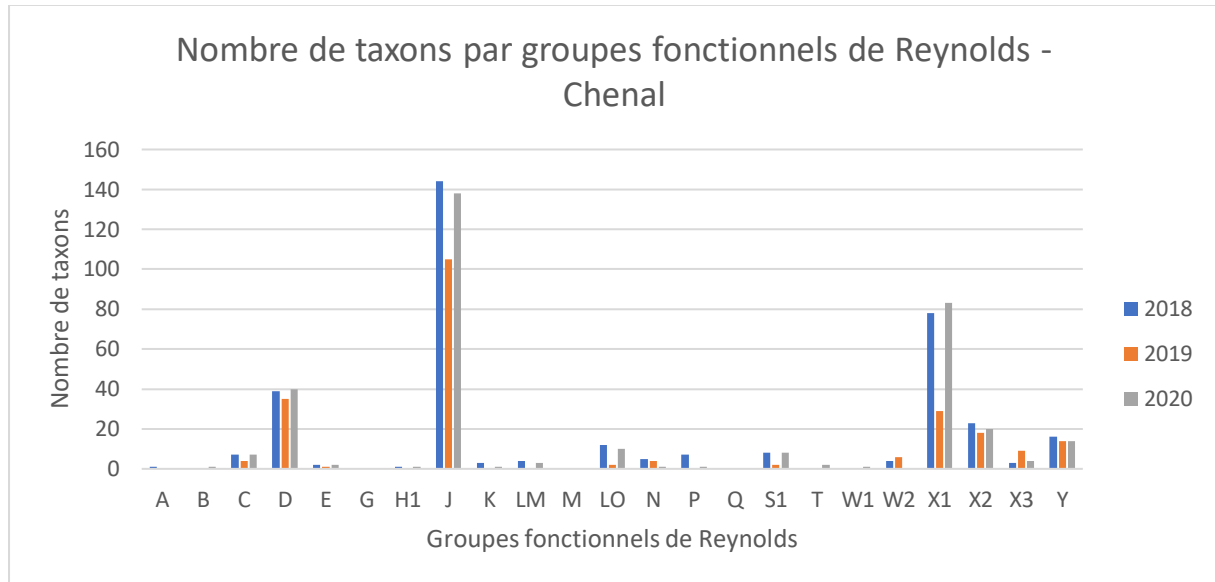


Figure 1 : Nombre de taxons par groupes fonctionnels de Reynolds - Chenal

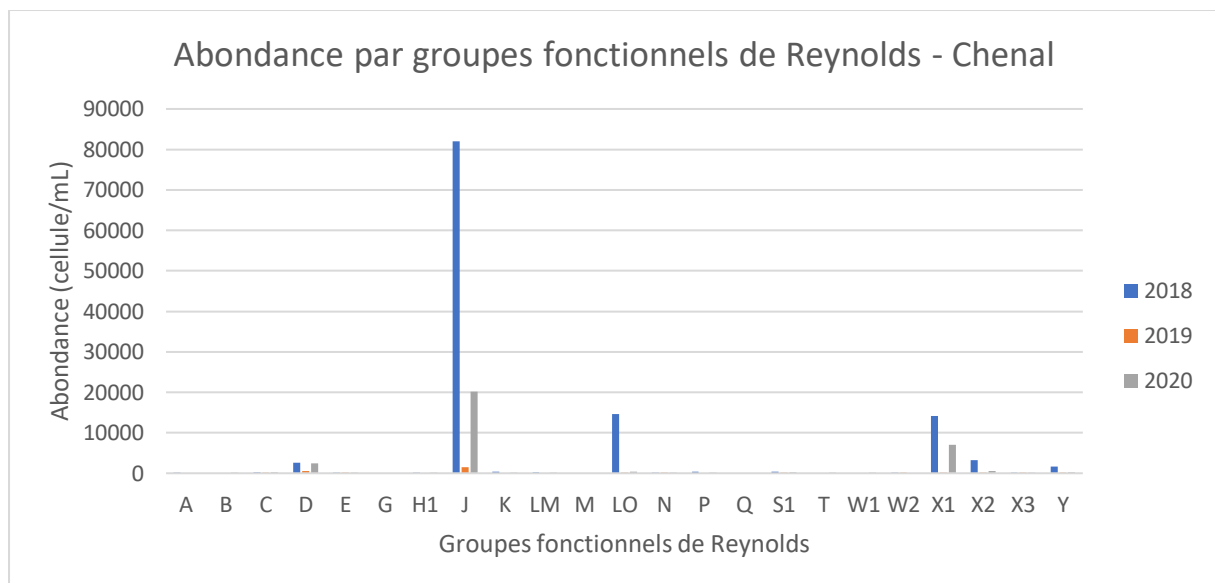


Figure 2 : Abondance par groupes fonctionnels de Reynolds - Chenal

On remarque une différence pour les RFG représentés, entre l'année 2019 et les deux autres années d'études (Figure 1 – Figure 2). En effet, le nombre de taxons et surtout l'abondance est bien plus faible en 2019.

Le RFG J est le plus représenté, autant par son abondance que par son nombre de taxons. Cette forte présence est influencée par le genre *Scenedesmus*, très présent avec au moins 6 espèces différentes. Ce groupe fonctionnel correspond aux lacs et rivières eutrophes peu profondes.

Le RFG X1 est le second le plus représenté en 2018 et 2020, autant en abondance qu'en nombre de taxon. Représenté par *Chlorella* et *Ankyra*, ce groupe fonctionnel correspond aux eaux peu profondes eutrophes subissant une stratification.

On notera la présence des groupes fonctionnels X2 et X3, Y et D, dans des quantités relativement faibles. Les milieux et les caractéristiques attribués à ces groupes fonctionnels se contredisent sur la trophie et le type d'habitat.

On notera également, après 2018, la forte décroissance du groupe fonctionnel LO, qui correspond à « summer epilimnia in mesotrophic lakes », soit l'épilimnion estival dans les lacs mésotrophes.

B. Annexe

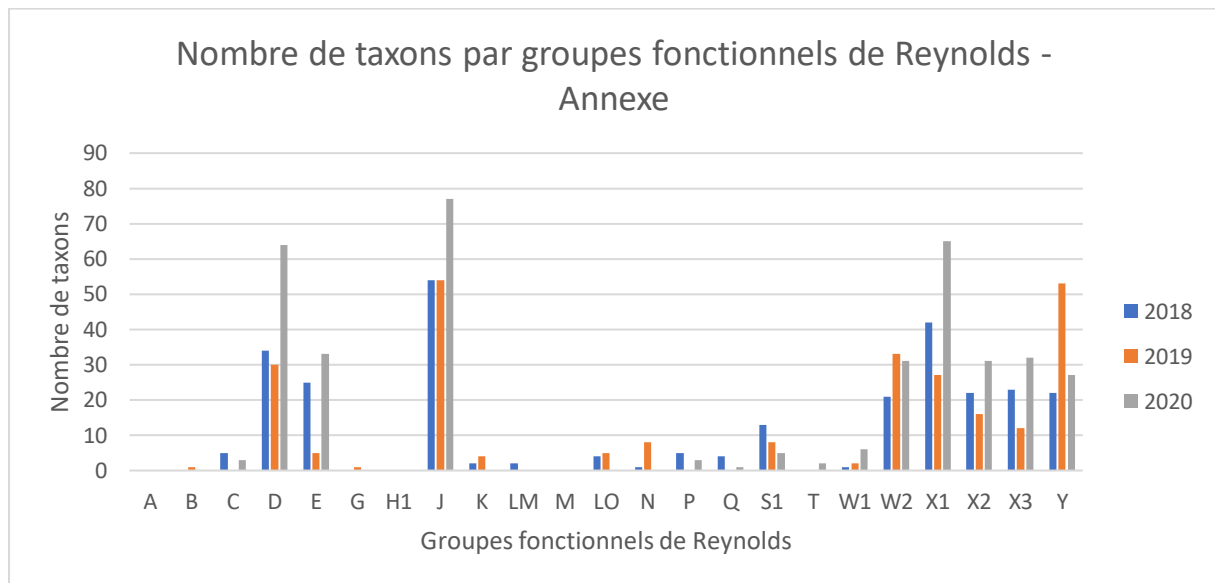


Figure 3 : Nombre de taxons par groupes fonctionnels de Reynolds - Annexe

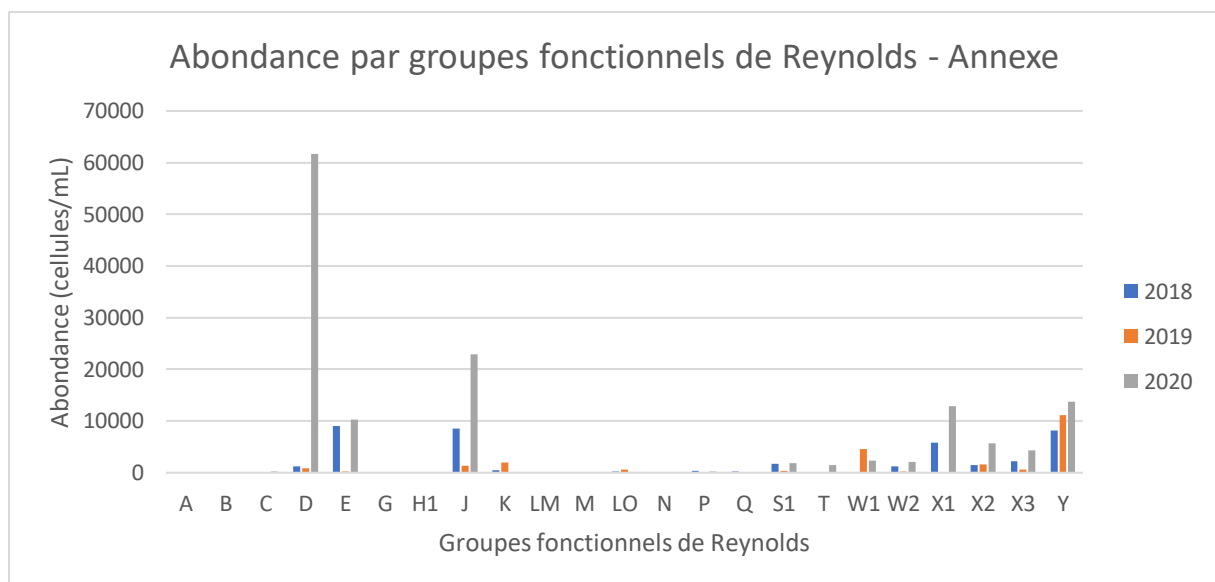


Figure 4 : Abondance par groupes fonctionnels de Reynolds – Annexe

On observe que l'année 2020 est systématiquement l'année la plus riche en abondance et en nombre de taxon, la seule exception est le nombre de taxon du groupe fonctionnel Y de l'année 2019 (Figure 2 – Figure 3). En termes de nombre de taxons, les deux années 2018 et 2019 sont comparables, (Annexe 1 – Tableau 2) respectivement 280 et 259 taxons attribués aux groupes fonctionnels. À noter qu'un taxon peut concerner une même espèce sur plusieurs échantillons.

Le RFG J possède la nombre de taxons la plus forte. Il correspond aux genres *Pediastrum* et *Coalestrum*. Il s'agit donc des milieux eutrophes de faibles profondeurs. Ce RFG est également le second possédant la plus forte abondance pour les années 2018 et 2020.

Le RFG D explose en termes d'abondance et de nombre de taxons pour l'année 2020. Alors qu'il est plus faiblement représenté en nombre de taxons et presque pas représenté en abondance sur les deux autres années d'étude. Ce phénomène s'explique par l'explosion de l'espèce *Stephanodiscus hantzii*. Ce groupe fonctionnel correspond à « Shallow, enriched turbid waters, including rivers », soit les eaux peu profondes, eutrophes et turbides.

Le seul RFG dont l'abondance reste dans le même ordre de grandeur sur les trois années est le RFG Y. De plus, il constitue le groupe fonctionnel le plus représenté par son abondance en moyenne sur les trois années si l'on ne compte pas le RFG D dont seule l'année 2020 est conséquente. Ce groupe fonctionnel est attribué au genre *Cryptomonas*. La description de ce milieu par Reynolds et al. est « usually, small, enriched lakes » soit les petits lacs eutrophes tolérants aux faibles lumières. Cette description correspond plutôt bien à l'annexe hydraulique étudiée. Étant donné qu'il s'agit du seul taxon régulièrement exprimé et représenté en quantité relativement élevé, on peut affirmer qu'il s'agit du RFG le plus représentatif du milieu.

On notera également la présences des RFG E, W2, X1,X2 et X3, tous représentés par un nombre important de taxons. Cependant, tous ces groupes sont représentés par de relativement faibles abondances et surtout très peu régulières. Ils correspondent globalement à des milieux eutrophes de faibles profondeurs. Comme leur présence est peu régulière, on peut émettre l'hypothèse que ces groupes fonctionnels sont des apports du chenal en période de connexion.

2. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Kruk et al.

Comme les résultats sont similaires pour le chenal et l'annexe, nous allons les analysés conjointement, puis nous soulignerons les différences entre les deux milieux.

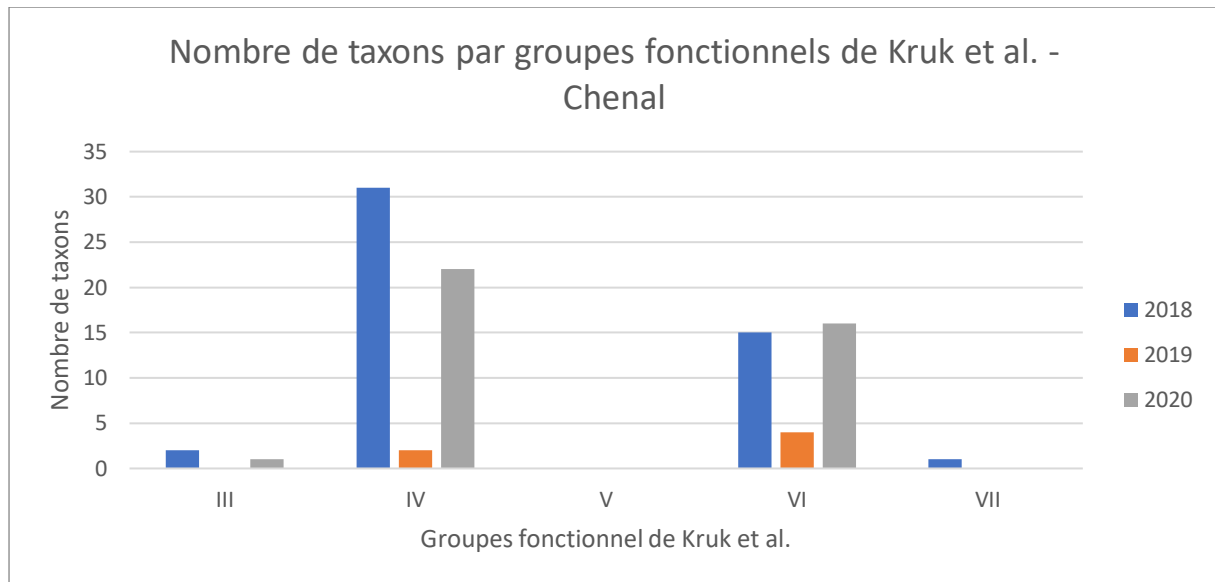


Figure 5 : Nombre de taxons par groupes fonctionnels de Kruk et al. - Chenal

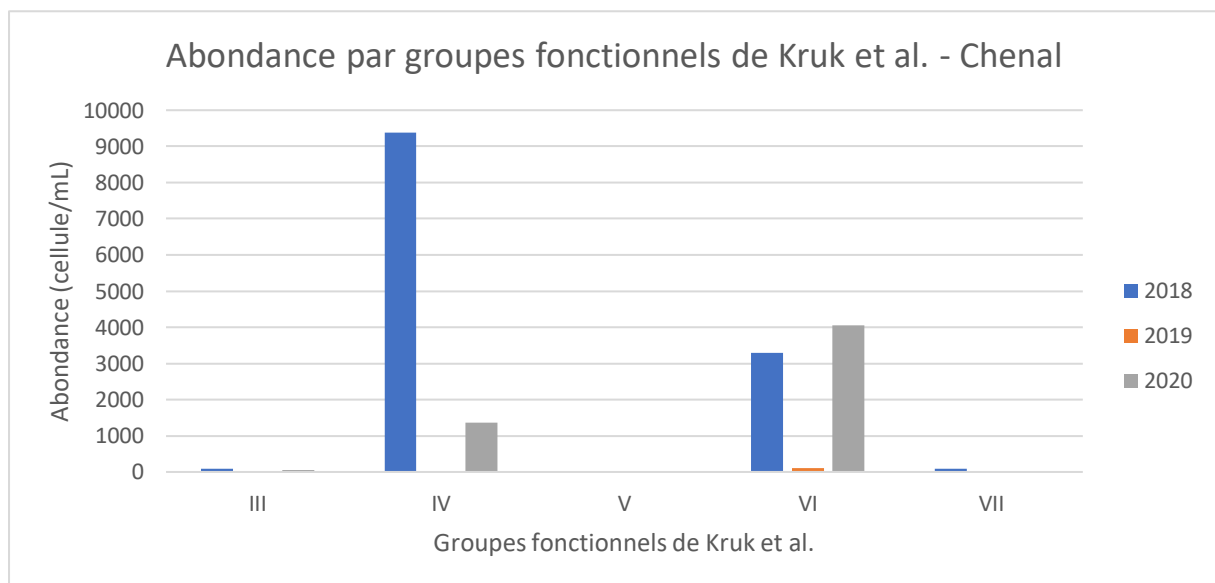


Figure 6 : Abondance par groupes fonctionnels de Kruk et al. - Chenal

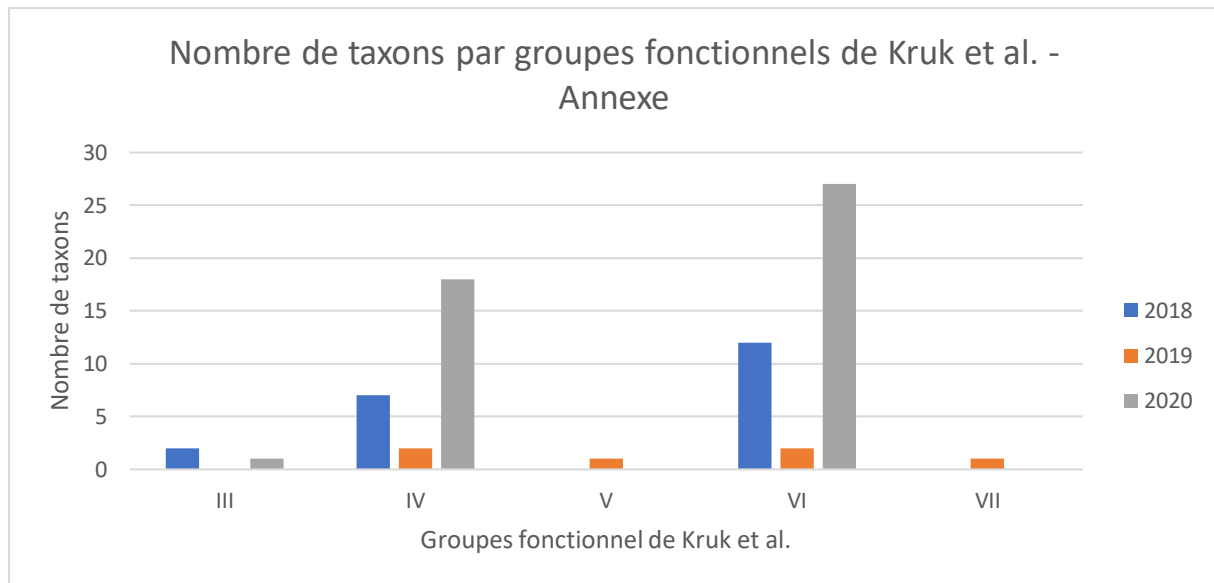


Figure 7 : Nombre de taxons par groupes fonctionnels de Kruk et al. - Annexe

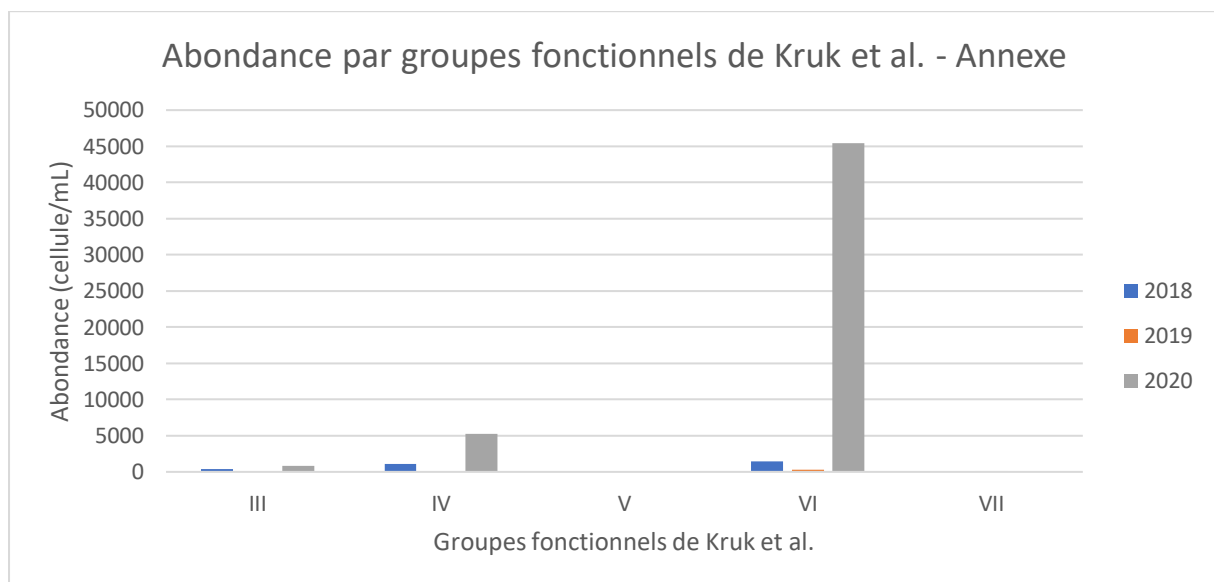


Figure 8 : Abondance par groupes fonctionnels de Kruk et al. - Annexe

Comme pour l'analyse par les RFG, on trouve également que l'année 2019 est presque inexistante, autant en nombre de taxons qu'en abondance.

On trouve dans le chenal les groupes fonctionnels III, IV, VI et VII. Les groupes IV et VI sont plus significativement représentés que les groupes III et VII.

Le MBFG IV est le plus représenté, il correspond aux organismes de taille moyenne dépourvus de traits spécialisés. Ces organismes ont une capacité « modérée » pour l'assimilation de nutriments, et une sensibilité, modérée à élevée, à la prédation.

Le MBFG VI est le second plus représenté, il correspond aux organismes non-flagellés possédant un exosquelette siliceux. Ce groupe correspond uniquement aux diatomées. Leur exosquelette les alourdissant et leur manque de motilité les placent en général en bas de la colonne d'eau. Ce groupe est exclu des milieux pauvres en ressources siliceuses.

Les MBFGs III et VII sont faiblement représentés, et ne sont présents que sur certaines années.

Le MBFG III correspond au phytoplancton de grande taille et aux grandes vacuoles, formant des colonies filamenteuse. Possédant une forte capacité à assimiler les nutriments, une bonne résistance au manque d'azote et une possible production de toxine, ces phytoplanctons possèdent une bonne résistance à la prédation.

Le MBFG VII correspond aux grandes colonies à mucilage. Ces colonies ont une bonne capacité de survie car il reste généralement des bouts de colonies permettant de relancer la population après un événement les ayant fortement impactées. Leur grande taille les rend sensibles au manque de nutriment. La forte propension de ce groupe fonctionnel à produire des toxines en fait un groupe important à suivre dans l'étude de la qualité des eaux.

Finalement, on trouve dans l'annexe des représentant du MBFG V, correspondant aux unicellulaires flagellées de taille modérée. Ce groupe fonctionnel se différencie du MBFG IV par la présence du flagelle, leur conférant une motilité et ainsi une meilleure résistance à la prédation.

3. Résultats de l'analyse par les groupes fonctionnels de Salmaso et Padisak

Comme abordé dans la partie Matériels et méthodes, le protocole de classification des taxons dans les groupes fonctionnels de Salmaso et Padisak s'avère beaucoup plus complexe que pour les deux méthodes précédentes. En effet, cette méthode nécessite une analyse complète des caractéristiques morpho-fonctionnelles de chaque taxon. Tout d'abord, il existe 345 taxons identifiés dans les échantillons analysés. La méthode nécessite donc un temps considérables pour déterminer chaque caractéristique de ces taxons. Aussi, les taxons peuvent être des espèces ou des genres très répandues, analysés depuis longtemps et dont les caractéristiques sont facilement identifiables. Cependant, certains traits ne sont que très peu détailler. On prendra comme exemple la taille des vacuoles, nécessaire à la classification des cyanobactéries. Le problème est donc double, on a d'un côté des espèces peu répandues et très spécifiques de la zone d'étude, et d'un autre côté des caractéristiques peu détaillées, dont l'identification est nécessaire.

Discussion

1. Objectifs de base et objectifs atteints

L'objectif de départ, d'utiliser les trois méthodes des groupes fonctionnels pour analyser le jeu de donnée du projet BPO Loire n'a pas pu être atteint. Un manque de connaissances de la méthode ainsi qu'un manque de temps n'a pas permis de mettre en place la méthode des MFGs. Comme on peut le voir dans l'étude du phytoplancton de la Loire (Abonyi et al., 2014), l'utilisation des trois méthodes avait mis en évidence la pertinence de l'utilisation des RFGs et des MFGs dans l'étude de la répartition spatio-temporelle du phytoplancton ligérien. Il serait donc intéressant de réaliser l'analyse par les MFGs dans son entièreté, et trouver des solutions pour permettre la classification des taxons peu décrit, peut-être en déterminant, via d'anciens ou de nouveaux échantillons, les caractéristiques nécessaires à la classification des taxons dans les groupes fonctionnels défini par (Reynolds et al., 2002). Aussi, l'analyse des paramètres physico-chimique avait donné des résultats intéressants dans l'étude (Dittière, 2021). Dans la première partie de ce PFE, nous avons également pour objectif de mettre en lien les paramètres physico-chimiques et l'analyse par les groupes fonctionnels. Il serait donc intéressant de réaliser cette analyse pour pousser plus loin cette étude.

2. Interprétation du jeu de donnée

Les trois années de suivi qui constituent le jeu de donnée ne sont pas régulières dans les échantillons, en lien avec un contexte hydrologique instable. En effet, l'année 2018 voit ses prélèvements commencer deux mois plus tard que les autres années, dû à des crues tardives. Surtout, l'année 2019 se place dans un contexte hydrologique particulièrement pauvre, dû à de fortes chaleurs estivales prolongées (Greulich, s. d.).

3. Pertinence des MBFGs pour l'analyse des deux types de milieux.

Outre la dimension spatiale pour le zonage de la Loire, la différence entre notre étude et celle de (Abonyi et al., 2014), est l'analyse du phytoplancton d'un nouveau type de zone que constitue l'annexe. L'utilisation des MBFGs fait apparaître le groupe fonctionnel V pour l'année 2019, nous apportant de nouveaux éléments pour comprendre le fonctionnement du phytoplancton dans ce milieu. Une hypothèse pour expliquer la présence de ce groupe fonctionnel, constitué par *Cryptomonas ovata*, présent dans un seul échantillon de l'annexe et non dans le chenal (cf. ANNEXE 1 – Tableau 3), est que l'annexe héberge plus de prédateurs,

et que ce groupe a donc été sélectionné pour sa meilleure résistance à la prédation. Pour finir, on trouve également des résultats similaires à l'étude (Abonyi et al., 2014), avec le MBFGs VI très représenté, voir majoritaire dans l'annexe.

4. Pertinence des FGs dans l'analyse du jeu de donnée

Grâce aux groupes fonctionnels de Reynolds, on a pu mettre en évidence la pertinence de cette méthode pour l'analyse du phytoplancton ligérien. Sur les 22 groupes fonctionnels présents dans les échantillons, 20 sont attribués à la Loire, et 20 sont attribués à l'annexe. Quatre groupes fonctionnels différencient ces deux milieux (Tableau 2).

Tableau 2 : Différence entre les groupes fonctionnels de l'annexe et ceux du chenal (en nombre d'échantillon)

Milieu	A	G	H1	Q
Annexe	0	1	0	5
Chenal	1	0	2	0

L'apparition de *Urosolenia*, un genre de diatomée appartenant au groupe fonctionnel A, est plutôt caractéristique de lacs clairs brassés, pauvre en nutriment (clear often well-mixed base poor lakes), ce qui correspondrait donc plutôt à un apport lié à un débordement à l'amont. L'apparition spontanée dans un seul échantillon du chenal et en faible quantité (cf. ANNEXE 1 – Tableau 1) pour l'année 2018, correspond bien à l'hypothèse d'un débordement.

L'apparition de *Aphanizomenon*, une cyanobactérie du groupe fonctionnel H1, soit les nostocales fixatrice de diazote, une fois en 2018 et une fois en 2020 dans le chenal, laisse à penser qu'il s'agit d'une niche occasionnelle, se formant peut-être lorsqu'il y a un manque d'azote et de carbone dans le milieu car ce sont des conditions qu'elles tolèrent bien (Reynolds et al., 2002). Les deux échantillons contenant le groupe fonctionnel H1 étant au mois de mai et d'octobre, on ne peut pas émettre l'hypothèse d'une apparition périodique régulière, n'apparaissant pas en 2019 à cause des conditions hydrologiques particulières.

Pour le groupe fonctionnel Q constitué ici par le genre *Gonyostomum*, il s'agit de FGs caractéristique de petits lacs humiques, auquel pourrait très bien s'apparenter notre Annexe. Sa présence dans 5 échantillons de 2018 et un de 2020 ne traduit rien en particulier. Il s'agit cependant d'un genre dont certaines espèces comme *Gonyostomum semen* peut s'avérer

dangereuse par sa prolifération dans les habitats. Le groupe fonctionnel G correspond lui à une colonne d'eau peu profonde et riche en nutriment qui pourrait également correspondre à l'annexe.

Pour ce qui est des groupes fonctionnels très représentés dans le chenal et dans l'annexe, leur présence et prédominance est cohérente avec la définition fonctionnelle que Reynolds en fait. Malheureusement l'étude portée sur la Loire (Abonyi et al., 2014) ne portant pas sur la même définition des groupes fonctionnels de Reynolds dont il existe plusieurs versions, la comparaison n'est pas parfaite. Cependant, leur classification laisse apparaître une prédominance d'Euglenoids, un genre de phytoplancton qui n'appartient à aucun groupe fonctionnel de la classification que nous avons utilisé.

Notre analyse fait ressortir le groupe fonctionnel J, composé par Scenedesmus dans le chenal, mais par Pediastrum et Coalestrum dans l'annexe. Cette niche n'est donc pas occupée par les mêmes genres. Si l'on prend en compte la régularité, les nombres de taxons et les abondances sur les trois années, Y apparaît comme le groupe fonctionnel le plus représentatif de l'annexe, avec une définition de l'habitat qui correspond fortement aux conditions réelles de l'annexe.

On trouve également dans l'annexe et dans le chenal, le groupe fonctionnel L0, composé par plusieurs espèces de Merismopedia. Si ce FGs est bien présent avec au moins 6 espèces différentes sur les trois années, c'est seulement en 2018 que leur abondance dans le milieu explose. Si sa présence dans l'annexe est cohérente avec le type de milieu associé, sa présence dans la Loire n'a pas lieu d'être. Une hypothèse pour expliquer ce phénomène est le relargage de l'épilimnion estival d'un lac mésotrophe à l'amont du site d'étude.

Conclusion et ouverture

Pour conclure, l'utilisation des groupes fonctionnels dans l'analyse du phytoplancton ligérien n'a pas été réalisée dans son entièreté. La suite de cette étude serait logiquement de réaliser la méthode des MFGs, ainsi que la mise en relation avec les paramètres physico-chimiques des milieux étudiés.

Cependant, les deux méthodes testées, celle des RFGs et celle des MBFGs se sont avérées pertinentes dans l'analyse de la dynamique phytoplanctonique. Les deux méthodes nous ont permis de mettre en évidence l'apparition de certains groupes fonctionnels, en lien avec des événements particuliers.

Les résultats obtenus sont à mettre en relief avec la quantité de données traitables qui s'avère assez faible. La méthode est toutefois réalisée et pourra faire l'objet d'une analyse plus poussée, si de nouveaux échantillons viennent à être analysés.

Bibliographie

- Abonyi, A., Leitão, M., Stanković, I., Borics, G., Várbiro, G., & Padisák, J. (2014). A large river (River Loire, France) survey to compare phytoplankton functional approaches : Do they display river zones in similar ways? *Ecological Indicators*, 46, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.038>
- Dittière, S. (2021). *Synthèse et analyse des méthodes de suivis écologiques en milieu alluvial sur le bassin versant de la Loire.*
- Greulich, S. (s. d.). *Biodiversité et variables de forçage dans les habitats de la plaine ligérienne – protocole et outils.*
- Kruk, C., Huszar, V. L. M., Peeters, E. T. H. M., Bonilla, S., Costa, L., Lüring, M., Reynolds, C. S., & Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55(3), 614-627. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>
- Leitao, M. (2021). *Projet BPO Loire—Bilan annuel 2020 Groupe taxonomique : Phytoplancton.*
- Levenez, M. (2023). *Variabilité spatiale et temporelle des communautés phytoplanctoniques en milieu alluvial.*
- Moatar, F., & Dupont, N. (Éds.). (2016). *La Loire fluviale et estuarienne : Un milieu en évolution.* Quae.
- Reynolds, C. S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., & Melo, S. (2002). Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*, 24(5), 417-428. <https://doi.org/10.1093/plankt/24.5.417>
- Salmaso, N., Naselli-Flores, L., & Padisák, J. (2015). Functional classifications and their application in phytoplankton ecology. *Freshwater Biology*, 60(4), 603-619. <https://doi.org/10.1111/fwb.12520>

Salmaso, N., & Padisák, J. (2007). Morpho-Functional Groups and phytoplankton development in two deep lakes (Lake Garda, Italy and Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia*, 578(1), 97-112. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0437-0>

Annexe 1 : Traitement des données taxonomiques

Tableau 1 : Récapitulatif des abondances et nombre de taxons de chaque année et chaque station pour les groupes fonctionnels de Reynolds de A à N

Lieu	Année	Unité	A	B	C	D	E	G	H1	J	K	LM	M	LO	N
Annexe	2018	Nb_taxon	0	0	5	34	25	0	0	54	2	2	0	4	1
		Abondance (cellule/mL)	0	0	169.84	1234.56	9045.22	0	0	8501.06	536.75	26.82	0	282.93	2.98
	2019	Nb_taxon	0	1	0	30	5	1	0	54	4	0	0	5	8
		Abondance (cellule/mL)	0	2.76	0	826.23	173.74	66.19	0	1296.73	1985.71	0	0	616.67	73.58
	2020	Nb_taxon	0	0	3	64	33	0	0	77	0	0	0	0	0
		Abondance (cellule/mL)	0	0	223.39	61728.28	10240.15	0	0	22914.89	0	0	0	0	0
		Total Nb_taxon Annexe	0	1	8	128	63	1	0	185	6	2	0	9	9
		Total Abondance Annexe	0	2.76	393.23	63789.07	19459.11	66.19	0	32712.68	2522.46	26.82	0	899.6	76.56
Chenal	2018	Nb_taxon	1	0	7.00	39	2	0	1	144	3	4	0	12	5
		Abondance (cellule/mL)	3.58	0	194.51	2621.54	18.34	0	47.66	82066.17	326.82	222.93	0	14550.92	20.67
	2019	Nb_taxon	0	0	4	35	1	0	0	105	0	0	0	2	4
		Abondance (cellule/mL)	0	0	19.03	619.94	5.52	0	0	1530.83	0	0	0	29.79	2.02
	2020	Nb_taxon	0	1	7	40	2	0	1	138	1	3	0	10	1
		Abondance (cellule/mL)	0	24.82	167.68	2457.72	7.17	0	4.14	20235.12	27.58	102.04	0	346.39	4.14
		Total Nb_taxon Chenal	1	1	18	114	5	0	2	387	4	7	0	24	10
		Total Abondance Chenal	3.58	24.82	381.22	5699.2	31.03	0	51.8	103832.12	354.4	324.97	0	14927.1	26.83
		Total Nb_taxon	1	2	26	242	68	1	2	572	10	9	0	33	19
		Total Abondance	3.58	27.58	774.45	69488.27	19490.14	66.19	51.8	136544.8	2876.86	351.79	0	15826.7	103.39

Tableau 2 : Récapitulatif des abondances et nombre de taxons de chaque année et chaque station pour les groupes fonctionnels de Reynolds de P à Y

Lieu	Année	Unité	P	Q	S1	T	W1	W2	X1	X2	X3	Y	Total
Annexe	2018	Nb_taxon	5	4	13	0	1	21	42	22	23	22	280
		Abondance (cellule/mL)	401.26	201.98	1779.08	0	2.98	1251.99	5803.83	1528.04	2235.45	8106.05	41110.82
	2019	Nb_taxon	0	0	8	0	2	33	27	16	12	53	259
		Abondance (cellule/mL)	0	0	313.69	0	4589.17	231.05	131.89	1655.3	666.04	11141.89	23770.64
	2020	Nb_taxon	3	1	5	2	6	31	65	31	32	27	380
		Abondance (cellule/mL)	289.58	41.37	1799.54	1487.04	2399.39	2059.25	12907.7	5693.72	4352	13686.17	139822.47
		Total Nb_taxon Annexe	8	5	26	2	9	85	134	69	67	102	919
		Total Abondance Annexe	690.84	243.35	3892.31	1487.04	6991.54	3542.29	18843.42	8877.06	7253.49	32934.11	204703.93
Chenal	2018	Nb_taxon	7	0	8	0	0	4	78	23	3	16	357
		Abondance (cellule/mL)	386.41	0	398.49	0	0	29.17	14210.45	3225.53	26.23	1648.37	119997.79
	2019	Nb_taxon	0	0	2	0	0	6	29	18	9	14	229
		Abondance (cellule/mL)	0	0	13.44	0	0	8.55	126.31	94.58	38.89	46.81	2535.71
	2020	Nb_taxon	1	0	8	2	1	0	83	20	4	14	337
		Abondance (cellule/mL)	16.55	0	247.52317	3.03	11.03	0	7109.09	601.5	74.46	282.14	31722.123
		Total Nb_taxon Chenal	8	0	18	2	1	10	190	61	16	44	923
		Total Abondance Chenal	402.96	0	659.45317	3.03	11.03	37.72	21445.85	3921.61	139.58	1977.32	154255.62
		Total Nb_taxon	16	5	44	4	10	95	324	130	83	146	1842
		Total Abondance	1093.8	243.35	4551.7632	1490.07	7002.57	3580.01	40289.27	12798.67	7393.07	34911.43	358959.55

Tableau 3 : Récapitulatif des abondance et nombre de taxons de chaque année et chaque station pour les groupes fonctionnels de Kruk et al.

Lieu	Année	Unité	III	IV	V	VI	VII	Total
Annexe	2018	Nb_taxon	2	7	0	12	0	21
		Abondance (cellule/mL)	357.71	1075.81	0	1475.73	0	2909.25
	2019	Nb_taxon	0	2	1	2	1	6
		Abondance (cellule/mL)	0	67	74.46	333.71	94.56	569.73
	2020	Nb_taxon	1	18	0	27	0	46
		Abondance (cellule/mL)	827.38	5292.74	0	45427.05	0	51547.17
		Total Nb_taxon Annexe	3	27	1	41	1	73
		Total Abondance Annexe	1185.09	6435.55	74.46	47236.49	94.56	55026.15
Chenal	2018	Nb_taxon	2	31	0	15	1	49
		Abondance (cellule/mL)	95.36	9387.07	0	3285.12	89.46	12857.01
	2019	Nb_taxon	0	2	0	4	0	6
		Abondance (cellule/mL)	0	25.85	0	113.07	0	138.92
	2020	Nb_taxon	1	22	0	16	0	39
		Abondance (cellule/mL)	45.51	1365.72	0	4045.87	0	5457.1
		Total Nb_taxon Chenal	3	55	0	35	1	94
		Total Abondance Chenal	140.87	10778.64	0	7444.06	89.46	18453.03
		Total Nb_taxon	6	82	1	76	2	167
		Total Abondance	1325.96	17214.19	74.46	54680.55	184.02	73479.18

Annexe 2 : Attribution des taxons aux groupes fonctionnels

Tableau 4 : Attribution des taxons aux groupes fonctionnels de Reynolds

Codon RFG	Taxon
A	<i>Urosolenia_</i>
B	<i>Aulacoseira_subarctica</i>
C	<i>Asterionella_formosa</i>
C	<i>Aulacoseira_ambigua</i>
C	<i>Aulacoseira_ambigua_fo._japonica</i>
D	<i>Nitzschia_</i>
D	<i>Nitzschia_acicularis</i>
D	<i>Nitzschia_flexa</i>
D	<i>Nitzschia_fruticosa</i>
D	<i>Nitzschia_graciliformis</i>
D	<i>Nitzschia_pumila</i>
D	<i>Nitzschia_vermicularis</i>
D	<i>Stephanodiscus_hantzschii</i>
D	<i>Stephanodiscus_hantzschii_f._tenuis</i>
E	<i>Dinobryon_</i>
E	<i>Dinobryon_crenulatum</i>
E	<i>Dinobryon_divergens</i>
E	<i>Dinobryon_sertularia</i>
E	<i>Dinobryon_sociale</i>
E	<i>Mallomonas_</i>
G	<i>Eudorina_</i>
H1	<i>Aphanizomenon_</i>
J	<i>Coelastrum_</i>
J	<i>Coelastrum_astroideum</i>
J	<i>Coelastrum_microporum</i>
J	<i>Coelastrum_polychordum</i>
J	<i>Coelastrum_reticulatum</i>

<i>J</i>	<i>Golenkinia_radiata_</i>
<i>J</i>	<i>Pediastrum_boryanum</i>
<i>J</i>	<i>Pediastrum_duplex</i>
<i>J</i>	<i>Pediastrum_simplex</i>
<i>J</i>	<i>Pediastrum_tetras</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_(2_cellules)</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_gr._Abundantes/_Spinosi</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_gr._Acutodesmus</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_gr._Armati</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_gr._Desmodesmus</i>
<i>J</i>	<i>Scenedesmus_gr._Scenedesmus_sensu_stricto</i>
<i>K</i>	<i>Aphanocapsa_</i>
<i>K</i>	<i>Aphanocapsa_delicatissima</i>
<i>K</i>	<i>Aphanocapsa_elachista</i>
<i>K</i>	<i>Aphanocapsa_holsatica</i>
<i>K</i>	<i>Aphanocapsa_hyalina</i>
<i>LM/M</i>	<i>Microcystis_</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_duplex</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_glauca</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_punctata</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_tenuissima</i>
<i>LO</i>	<i>Merismopedia_trolleri</i>
<i>N</i>	<i>Cosmarium_</i>
<i>P</i>	<i>Aulacoseira_granulata</i>
<i>P</i>	<i>Aulacoseira_granulata_var._angustissima</i>
<i>P</i>	<i>Fragilaria_crotonensis_</i>
<i>Q</i>	<i>Gonyostomum</i>
<i>S1</i>	<i>Limnothrix_redekei</i>
<i>S1</i>	<i>Planktothrix_agardhii</i>
<i>S1</i>	<i>Pseudanabaena</i>

<i>T</i>	<i>Mougeotia</i>
<i>W1</i>	<i>Gonium_pectorale</i>
<i>W1</i>	<i>Synura_</i>
<i>W2</i>	<i>Trachelomonas_</i>
<i>W2</i>	<i>Trachelomonas_abrupta_var._minor</i>
<i>W2</i>	<i>Trachelomonas_hispida</i>
<i>W2</i>	<i>Trachelomonas_volvocina_</i>
<i>W2</i>	<i>Trachelomonas_volvocinopsis</i>
<i>X1</i>	<i>Ankyra_</i>
<i>X1</i>	<i>Ankyra_judayi</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_arcuatum</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_circinale</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_contortum</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_griffithii</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_komarkovae</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_minutum</i>
<i>X1</i>	<i>Monoraphidium_tortile</i>
<i>X2</i>	<i>Plagioselmis</i>
<i>X2</i>	<i>Plagioselmis_lacustris</i>
<i>X2</i>	<i>Plagioselmis_nannoplanctica</i>
<i>X3</i>	<i>Chrysococcus_</i>
<i>X3</i>	<i>Chrysococcus_biporus</i>
<i>X3</i>	<i>Chrysococcus_rufescens</i>
<i>X3</i>	<i>Koliella</i>
<i>Y</i>	<i>Cryptomonas_</i>
<i>Y</i>	<i>Cryptomonas_marssonii</i>
<i>Y</i>	<i>Cryptomonas_ovata</i>
<i>Y</i>	<i>Cryptomonas_tetrapyrenoidosa</i>

Tableau 5 : Attribution des taxons aux groupes fonctionnels de Kruk et al.

Codon MBFG	Taxon
3	<i>Planktothrix_agardhii</i>
4	<i>Coelastrum_microporum</i>
4	<i>Micractinium_pusillum</i>
4	<i>Monoraphidium_griffithii</i>
4	<i>Pediastrum_duplex</i>
5	<i>Cryptomonas_ovata</i>
6	<i>Acanthoceras_zachariasii</i>
6	<i>Asterionella_formosa</i>
6	<i>Aulacoseira_granulata</i>
6	<i>Aulacoseira_granulata_var._angustissima</i>
6	<i>Cyclotella_atomus</i>
6	<i>Cyclotella_atomus_var._gracilis</i>
6	<i>Cyclotella_meneghiniana</i>
7	<i>Aphanocapsa_delicatissima</i>

*Cités, Territoires,
Environnement et Sociétés*



Directeur.rice de recherche :

Sabine Greulich

Malo LEVENEZ

PFE/DAE5

DAE/IMA

2023-2024

Analyse du phytoplancton de la Loire à l'aide des groupes fonctionnels

Résumé :

Cette étude, qui s'inscrit dans la continuité du PFE réalisé en 5^{ème} année d'ingénieur à Polytech Tours, mais également dans le projet BPO Loire a pour but d'analyser les communautés phytoplanctoniques alluviales ligériennes. Le rôle significatif des phytoplanctons dans les dynamiques écologiques justifie la nécessité d'un meilleur suivi et d'une meilleure compréhension de leur dynamique. Un jeu de donnée a été créé à partir d'échantillons réalisés sur les années 2018, 2019 et 2020 dans deux milieux, le chenal principal de la Loire ainsi qu'une annexe hydraulique. Une analyse taxonomique a ensuite été réalisée dans le projet BPO Loire. Pour approfondir cette analyse taxonomique, une approche par les groupes fonctionnels nous a permis de mettre en évidence certains événements et de mieux comprendre la répartition spatio-temporelle des communautés phytoplanctonique de ces deux milieux. Les groupes fonctionnels permettent de regrouper des taxons de phytoplancton selon leur rôle et leur fonction dans l'habitat. Ainsi, sur les trois méthodes de groupes fonctionnels ciblées dans cette étude, deux d'entre eux, les RFGs et les MBFGs nous ont permis de mettre en lumière certains mécanismes dans cet environnement. A contrario, la méthode des MFGs n'a pas pu être menée à terme. Avec une meilleure compréhension de cette méthode, elle peut constituer une prochaine étape dans l'analyse des dynamiques phytoplanctoniques ligériennes. Aussi, la pertinence de l'utilisation de ces méthodes valide leur application dans l'analyse du phytoplancton. Ainsi, ce travail peut servir de base dans l'analyse de futurs échantillons. Une autre valorisation de ce travail serait de mettre nos résultats aux regards des caractéristiques physico-chimiques déterminées dans le projet BPO Loire.

Mots Clés :

Phytoplancton – Groupes fonctionnels – Taxons – Loire