



HAL
open science

Diatomées : taxonomie, écologie et outil pour la gestion des milieux aquatiques

Frédéric Rimet

► **To cite this version:**

Frédéric Rimet. Diatomées : taxonomie, écologie et outil pour la gestion des milieux aquatiques. Biodiversité et Ecologie. Université Savoie Mont-Blanc, 2020. tel-03080230

HAL Id: tel-03080230

<https://hal.science/tel-03080230>

Submitted on 17 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Manuscrit HDR

Pour obtenir le diplôme d'

HABILITATION à DIRIGER des RECHERCHES

de l'UNIVERSITE SAVOIE MONT BLANC

Spécialité : Biologie, Ecologie, Environnement

Arrêtés ministériels des 23 novembre 1988 et 13 février 1992

Présenté par

Frédéric RIMET

INRAE UMR 0042 CARRTEL

Diatomées : taxonomie, écologie et outil pour la gestion des milieux aquatiques

HDR soutenue publiquement le **24 novembre 2020**,

devant le jury composé de :

Mr Jean-Nicolas BEISEL

Professeur, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg et
Laboratoire Image Ville Environnement, UMR 7362 Unistra, CNRS - ENGEES, Strasbourg
(Rapporteur)

Mr Thibault DATRY

Directeur de Recherche, UR RiverLy, INRAE, Villeurbanne (Rapporteur)

Mme Muriel GUGGER

Chargé de Recherche expert à l'Institut Pasteur, Responsable du laboratoire Collection
des Cyanobactéries et Directrice de la collection Pasteur Culture of Cyanobacteria, Paris
(Rapporteur)

Mme Christine ARGILLIER

Directrice de recherche, UMR RECOVER, INRAE, Université Aix-Marseille, Aix-en-
Provence (Membre)

Mr Jean-François HUMBERT

Directeur de Recherche, Sorbonne Université, Faculté de Sciences, Paris (Membre)

TABLE DES MATIERES

1. Curriculum vitae	5
1.1. Etat civil	5
1.2. Parcours	5
1.3. Programmes de recherche	6
1.4. Activité d’encadrement	7
1.4.1. Encadrement de stages d’étudiants	7
1.4.2. Encadrement de CDD	7
1.4.3. Encadrement de doctorants	7
1.5. Animation de la recherche	8
1.5.1. Participation à l’animation de l’unité	8
1.5.2. Participation à l’encadrement des suivis scientifiques des grands lacs	9
1.5.3. Réseaux scientifiques, normalisation et association scientifiques :	9
1.6. Rayonnement scientifique	10
1.6.1. Activités éditoriales	10
1.6.2. Organisation de colloques, tables rondes, sessions, conférencier invité	10
1.6.3. Activités pédagogiques, organisation de colloques	10
1.7. Publications	11
1.7.1. Publications scientifiques dans revues à comité de lecture	11
1.7.2. Rapports de recherche, chapitres d’ouvrage	12
2. Synthèse des travaux de recherche	13
2.1. Introduction	13
2.1.1. Contexte de ma candidature à une HDR	13
2.1.2. Cadre de la démarche scientifique	14
2.2. La taxonomie, une discipline nécessaire	17
2.2.1. Contour d’espèce et taxonomie intégrative	17
2.2.2. Rendre l’identification des diatomées reproductible, précise et démocratique	19
2.3. Ecologie des diatomées : une connaissance nécessaire pour leur utilisation comme outil d’évaluation environnementale	23
2.3.1. Impact des paramètres physiques sur les communautés de diatomées	24
2.3.2. Impact des paramètres chimiques sur les communautés de diatomées	26
2.4. Outils pour l’évaluation environnementale	30
2.4.1. Quelle résolution taxonomique pour la bioindication ?	30
2.4.2. Liens entre phylogénie des espèces de diatomées et écologie : implication pour le biomonitoring	33
2.4.3. L’écologie fonctionnelle : apports pour la bioindication diatomées	37

2.4.4. La phytosociologie : apports pour l'évaluation des lacs.....	39
3. Perspectives scientifiques	41
3.1. Le métabarcoding : de nouveaux apports pour la diversité et l'écologie des diatomées ?	41
3.2. Des objectifs plus appliqués : une aide à la gestion	48
4. Liste des publications, communications et produits	51
4.1. Liste des publications dans des revues à comité de lecture	51
4.2. Communications et poster dans des colloques scientifiques à comité de lecture	59
4.3. Communication sur invitation	68
4.4. Ouvrages, chapitres d'ouvrages	69
5. Références	70

Figure 1 : Nombre de publications par année et leur notoriété (NORIA 2018).	11
Figure 2 : Contextes disciplinaires des publications par années (NORIA 2018).	11
Figure 3 : Coupe des volcans Chimborazo et Cotopaxi, les noms des espèces végétales sont notés sur la montagne et sont mis en lien avec des paramètres de milieux comme par exemple l'altitude, les courants atmosphériques, la pression, les phénomènes électriques atmosphériques (Humboldt and Bonpland, 1805). .	16
Figure 4 : Taxonomie intégrative, la délimitation d'espèce se fait sur la base de plusieurs critères. Ces critères peuvent être intégrés de différentes manières. Soit par accumulation, soit par congruence. Schéma issu de Padial et al. (2010).	18
Figure 5 : Etapes du métabarcoding, appliquées aux diatomées.	20
Figure 6 : Séquençage haut-débit de biofilms issus de carapaces de tortues (Mayotte, N'Gouja, oct. 2015). Sur cette phylogénie générale des diatomées, les séquences environnementales sont identifiées avec des points noirs. On observe que dans l'espèce <i>Nitzschia inconspicua</i> , plusieurs génotypes sont détectés sur les carapaces de tortues. Ces génotypes ne sont pas co-occurents et laissent supposer qu'ils proviennent d'habitats différents que les tortues ont fréquentés.	21
Figure 7 : Evolution de la longueur des séquences et du débit des séquenceurs haut-débits (Keck et al., 2017).	22
Figure 8 : La turbulence dans les lacs à un impact décisif sur la structure des communautés benthiques en zone littorale. Ici un exemple est donné dans les petits lacs d'altitude des Alpes. Une forte turbulence dans le lac sélectionne des espèces pionnières sur toute la zone littorale, même s'il existe différent type d'habitats littoraux (Rimet et al., 2019).	25
Figure 9 : Les communautés de diatomées sont fortement influencées par le substrat géologique : (a) au Luxembourg, la communauté figurée en rouge est située sur du schiste et la communauté figurée en jaune est située sur du grès (Rimet et al., 2004), (b) dans le nord-est de la France, la communauté figurée en noir est située sur des substrats sédimentaires, et la communauté figurée en blanc est située sur des massifs cristallins (Rimet, 2009), (c) dans les rivières d'altitude, plusieurs communautés sont liées à des géologies particulières comme celles représentée ci-dessus qui se trouve sur substrat cristallin (Rimet et al., 2007).	26
Figure 10 : Carte de la qualité du littoral du Léman (projet Interreg France-Suisse SYNAQUA) établie à partir des communautés de diatomées identifiées en métabarcoding. Les sites « bleus » sont de bonne qualité écologique ; les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces de grande taille adaptées aux milieux pauvres en nutriments. Les sites « verts » sont de qualité écologique intermédiaire ; Les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces mobiles vivant dans des biofilms assez épais. Ce groupe est constitué de sites avec un niveau intermédiaire en nutriments, incluant en particulier des sites proches des embouchures. Les sites « rouges » sont de qualité écologique plus dégradée ; les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces de petite taille adaptées aux eaux présentant plus de nutriments. Une majorité de sites sont proches de rivières et de ports. Carte tiré de INRA (2019).	28
Figure 11 : a) Nombre de taxons déterminés en microscopie en fonction de la résolution taxonomique (Rimet and Bouchez, 2012a) et b) nombre d'Unité Taxonomique Opérationnelle (OTU) définies en fonction du seuil de similarité entre séquence (Tapolczai et al., 2019).	32
Figure 12 : Corrélations entre les indices et les paramètres à évaluer (a) pour la microscopie (paramètres de minéralisation, de nutriments et de matière organique) et (b) pour le métabarcoding (pollution générale incluant matière organique principalement et dans une moindre mesure les nutriments) en fonction des différentes résolutions taxonomiques. Les corrélations pour (a) et (b) sont faites sur des jeux de données tests (non utilisés pour le développement des indices). SST : seuil de similarité entre séquences.	32

Figure 13 : Evolution du pouvoir discriminant et de la stabilité des indices développés en métabarcoding en fonction de la résolution taxonomique (SST : seuil de similarité entre séquences).	33
Figure 14 : Signal phylogénétique de la sensibilité aux herbicides pour les diatomées. (a) Signal phylogénétique pour la résistance aux herbicides à un niveau interspécifique (Larras et al., 2014) : les valeurs centrées-réduites des CE50 de cultures de diatomées sont indiquées par des tailles et couleurs de ronds (noir CE50 faible, blanc CE50 élevée) et replacées dans leur phylogénie (cultures séquencées pour le 18s et le rbcl). (b) Signal phylogénétique pour la résistance aux herbicides à un niveau intraspécifique (Esteves et al., 2017).	35
Figure 15 : Signal phylogénétique pour la sensibilité générale à la pollution. (a) Test de la présence d'un signal phylogénétique pour les préférences des espèces par rapport à différents paramètres physico-chimiques, les box-plots noir indiquent un signal significatif (Keck et al., 2016b). (b) Arbre phylogénétique de 262 espèces de diatomées et leurs valeurs de sensibilité à la pollution (valeurs d'IPS) ; les couleurs correspondent à des groupes d'espèces ayant des sensibilités à la pollution proches et étant voisines phylogénétiquement (Keck et al., 2016a).	36
Figure 16 : Exemple d'une forme de vie (le tube muqueux) présente chez deux groupes taxonomiquement éloignés, (a) <i>Encyonema paradoxum</i> , (b) <i>Berkeleya adriatica</i> , dessins tirés de Kützing (1844).	37
Figure 17 : Développement d'indices pour les cours d'eau de Mayotte (a) Localisation de l'île de Mayotte et des stations d'échantillonnage (Ref : réseau de référence, RCS : réseau de contrôle de surveillance, Poll : réseau de sites pollués). (b) Comparaison de l'indice trait (Idx.M _{trait}) et de l'indice espèce (Idx.M). Les deux indices sont significativement corrélés ($p < 0.05$, corrélation de Pearson) mais ne présentent pas la même distribution des données le long du gradient de pollution : l'indice trait est mieux distribué le long du gradient et permet donc de mieux discriminer les différents niveaux de pollution.	39
Figure 18 : Carte de qualité des zones littorales du Léman basée sur les communautés de diatomées. (a) Diatomées identifiées en microscopie, (35 sites prélevés en août 2010). Bleu : zones pauvres en nutriments, Jaune : zone d'exutoires de rivières, Rouge : zones riche en nutriments (b) Diatomées identifiées en métabarcoding (153 sites prélevés en juin 2017). Bleu : zones pauvres en nutriments avec beaucoup de diatomées présentant un rapport surface/volume important (high-profile), Vert : concentrations en nutriments intermédiaires avec beaucoup de diatomées motiles, Rouge : zones plus riches en nutriments avec beaucoup de diatomées de petites tailles, fortement accrochées au substrat (low-profile).	40
Figure 19 : Localisation des aires d'échantillonnage où des séquençages environnementaux ont été réalisés (en rouge : runs réalisés par A. Bouchez et moi même, en bleu : runs réalisés en collaboration avec d'autres équipes extérieures).	43
Figure 20 : Nombre de sites de prélèvements de diatomées benthiques littorales réalisés sur les quatre grands lacs périalpins (Léman, Annecy, Bourget, Aiguebelette), en fonctions des caractéristiques de tailles de ces lacs. Les efforts d'échantillonnage sont similaires entre les lacs.	44
Figure 21 : Principales règles d'assemblage d'espèce chez les microorganismes d'après (Lindström and Langenheder, 2011)	46
Figure 22 : Réseau d'haplotype d'une espèces abondante dans les prélèvements littoraux du Léman (<i>Gomphonema tergestinum</i>) et carte géographique de répartition de ces haplotypes dans les Léman.	47

1. Curriculum vitae

1.1. Etat civil

Nom : Frédéric Rimet

Naissance : le 3 mars 1974 à Nantua, France

Situation : Marié, 2 enfants

Adresse professionnelle : UMR Carrtel, 75bis avenue de Corzent, 74203 Thonon les Bains, France

Téléphone : 00 33 4 50 26 78 74

E-mail: frederic.rimet@inrae.fr

1.2. Parcours

Fonction actuelle :

Depuis 2007 : Ingénieur d'étude à l'UMR Carrtel (Thonon)

Parcours professionnel :

2004-2007 : Hydrobiologiste titulaire à la Direction Régionale de l'Environnement - Lorraine (Metz)

2000-2004 : Chercheur au Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann (Luxembourg)

Formation :

2012 : Doctorat Université de Grenoble, Spécialité : Biodiversité, écologie, environnement. Titre «Diatoms: an ecoregional indicator of nutrients, organic matter and micropollutants pollution»

1998 : DESS « Eaux continentales pollutions et aménagements », Université de Franche-Comté

1.3. Programmes de recherche

Le tableau ci après liste les programmes de recherche auxquels j'ai participé (ou je participe) depuis que je suis à l'UMR Carrtel.

Nom du programme	Financement	Début	Durée	Rôle	Partenaires
DISCO : Diatom as indicator of soil conditions	FNR (Luxembourg)	2020	3 ans	Participant	List, Univ Lorraine, INRAE, Royal Bot. Garden Edimb.
Phytoplankton DOM : développement d'outils de monitoring basés sur l'ADN	AFB	2020	1 an	Porteur	UMR Carrtel, UR EABX, OFB
Barcoding ADN diatomées : Complétion de la bibliothèque de référence Diat.barcode	AFB	2020	1 an	Porteur	UMR Carrtel, UR EABX, OFB Ministère Transition écologique solidaire
Métabarcoding diatomées - Bretagne	Dreal Bretagne	2019	1 an	Porteur	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
Flore des diatomées des cours d'eau de Mayotte – comparaison avec les flores d'autres îles de l'Indo-Pacifique	AFB	2019	3 ans	Co-porteur	AFB, MicPhyc
Eco-AlpsWaters : Innovative Ecological Assessment and Water Management Strategy for the Protection of Ecosystem Services in Alpine Lakes and Rivers	Interreg AlpineSpace	2018	3 ans	Participation	FEM (I), UMR Carrtel, LFUI (A), NIB (SI), SUPSI (CH)
SYNAQUA : SYNergie transfrontalière pour la bio-surveillance et la préservation des écosystèmes AQUATIQUES	Interreg FR/CH	2016	3 ans	Participation	UMR Carrtel, Univ. Genève (CH)
LACOMIC : Lac de montagne et Communautés Microbiennes : approche large échelle et séquençage haut-débit	AAP Univ. Savoie-Mont Blanc	2015	1 an	Participation	UMR Carrtel (toute les équipes)
Développement d'outils de bioindication « phytobenthos » et macroinvertébrés benthiques » pour les cours d'eau de Mayotte	Onema	2013	5 ans	Participation	UMR Carrtel, ESE (INRA Rennes), Biogeco (INRA Bordeaux), Ethyc'O, Asconit, Univ. Lorraine
POTOMAC : potentiel toxique dans les milieux continentaux	ANR CESA	2012	3.5 ans	Participation	Irstea Bordeaux et Lyon, UMR EPOC, UMR LSA
Bioindication du futur : vers une utilisation des outils phylogénétiques	Onema	2012	3 ans	Participation	UMR Carrtel, Irstea Lyon, INRA Rennes ESE
Bibliothèque du Vivant (barcoding)	Genoscope	2012	1 an	Participation	Consortium INRA, CNRS, MNHN
IMPALAC : prédire l'impact des herbicides en mélange et à faible concentration sur les communautés algales planctoniques et benthiques lacustres	AP Pesticides MEEDDM	2011	3 ans	Participation	UMR Carrtel,
CODAL : caractérisation par barcode des communautés microalgales d'eau douce	INRA EFPA	2010	1 an	Participation	INRA Biogeco
Des bioindicateurs pour évaluer l'impact ou la restauration vis-à-vis des pesticides	Onema	2009	3 ans	Participation	UMR Carrtel, INRA Rennes ESE
Surveillance des impacts environnementaux d'effluents aqueux de sites industriels par les diatomées	AP Record	2008	1 an	Participation	UMR Carrtel, Solvay, Total, Edf

1.4. Activité d'encadrement

Depuis mon recrutement à l'UMR Carrtel, j'ai eu l'opportunité de co-encadrer 4 doctorants et j'ai été l'encadrant principal de 10 étudiants en master, 2 étudiants en stages ingénieur, 4 étudiantes en stages Erasmus, 2 étudiantes en licence, 4 étudiantes en stages BTS, un étudiant en stage préparatoire à une école de Hautes Etudes des sciences (Suisse).

1.4.1. Encadrement de stages d'étudiants

Master : V. Berthon (7 mois de M2 en 2008-2009), L. Moreau, (6 mois de M2 en 2008), S. Anso (6 mois M2 en 2013), K. Tapolczai (6 mois de M2 en 2013), S. Esteves (3 mois de M1 en 2015), L. Feret (2 mois de M1 en 2015 et 6 mois de M2 en 2016), S. Rivera (6 mois de M2 en 2016), C. Coquibus (2 mois de M1 en 2019), A. Dudko (6 mois de M2 en 2020), L. Campione (6 mois de M2 en 2020)

Ingénieur : S. Baillot (tuteur, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 2 années scolaires de 2010 à 2012), G. Bonnaud (EPFL, 2 mois en 2010)

Erasmus : B. Abonyi-Keszte (doctorante, 5 mois en 2016-2017), A.C. Eandi (master, 3 mois en 2016), S. Gonçalves (master, 6 mois en 2014-2015), E. Ghiglione (master, 2 mois en 2013)

Licence : S. Esteves (5 mois en 2014), E. Dormia (3 mois en 2011-2012)

BTS : A.S. Raymond (2 mois en 2008), R. Demir (4 mois en 2017-2018), M. Corniquel (4 mois en 2014-2015), S. Lacroix (4 mois en 2012-2013)

Stage préparation école HES (Suisse) : N. Fournié (6 mois en 2019)

1.4.2. Encadrement de CDD

CDD ingénieur d'étude ou de recherche : V. Berthon (6 mois 2009-2010), R. Marcel (4 mois, 2010), S. Guyot (6 mois, 2013), S. Rivera (6 mois, 2018), T. Chonova (10 mois 2020), A. Canino (6 mois 2020).

CDD technicienne de recherche : R. Demir (4 mois, 2018)

1.4.3. Encadrement de doctorants

Codirection :

Rivera S., démarrage 09/2018. « Biofilms de lacs : capteur d'ADN et révélateur de la biodiversité pour une mesure haut débit de l'impact de l'artificialisation du littoral des lacs ». Direction : A. Bouchez, Co-direction F. Rimet

Tapolczai K., soutenue 12/2018. "Time for change: Towards the implementation of new approaches in diatom-based ecological quality assessment for rivers." Université Grenoble Alpes. Direction : A. Bouchez, Co-direction F. Rimet et membre du jury.

Keck, F., soutenue 04/2016. Evaluation des liens entre phylogénie et traits écologiques chez les diatomées : pistes d'utilisation pour la bioindication des milieux aquatiques. Direction : A. Franc, Co-direction : A. Bouchez et F. Rimet. Université Grenoble Alpes

Berthon V., soutenue 12/2014. « Changement climatique et perturbations locales dans trois grands lacs alpins au cours du dernier siècle : ce qu'enseignent les diatomées et les rotifères. » Université Grenoble Alpes. Direction : JM Dorioz, Co-direction F. Rimet et B. Montuelle et membre du jury.

Membre de comité de pilotage :

Kermarrec, L., soutenue 05/2012. Apport des outils de la biologie moléculaire pour l'utilisation des diatomées comme bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques lotiques et pour l'étude de leur taxonomie. Direction A. Bouchez et codirection JF Humbert. Université de Grenoble.

Membre de jury :

Rirongarti R., soutenue 12/2019. « Etude des diatomées actuelles des lacs du Tchad : Taxonomie, Diversité et Calibration. » Université d'Aix-Marseille. Membre du jury (examinateur).

Vasselon V., soutenue 12/2018. « Barcoding et bioindication : développement du metabarcoding des diatomées pour l'évaluation de la qualité des cours d'eau. » Université Grenoble Alpes. Membre du jury

Burfeid Castellanos A.M., soutenue 09/2018. Ecological factors and diatom diversity at rivers of the Iberian Mediterranean river basins: macro-scale, meso-scale and micro-scale. Universitat de Barcelona. Jury member

Rovira L., soutenue 07/2013. The ecology and taxonomy of estuarine benthic diatoms and their use as bioindicators in a highly stratified estuary (Ebro Estuary, NE Iberian Peninsula): a multidisciplinary approach. University of Barcelona. Jury member

1.5. Animation de la recherche

1.5.1. Participation à l'animation de l'unité

Axe « Diagnoses Ecologiques aquatiques Outils & Transferts » : Une nouvelle organisation de l'UMR a été validée par l'HCERES en janvier 2020. Les questions et projets scientifiques de l'UMR Carrtel sont depuis structurés en 3 axes. Je suis l'animateur de l'un de ces axes, « Diagnoses Ecologiques aquatiques Outils & Transferts ». En effet, le volet 'indicateurs et diagnoses écologiques' a pris une place importante dans les activités de l'UMR. Cet axe, transversal, vise à officialiser le développement d'approches et d'outils de diagnoses innovants, porteurs d'une interface privilégiée vers le transfert opérationnel. Cet axe transversal, est irrigué par certains travaux des deux autres axes et en retour peut leur fournir des outils/données applicables pour les travaux menés dans ces axes. Actuellement, le montage d'un projet Interreg FR-CH est une action structurante importante de cet axe (cf. perspectives § 3.2).

TCC (Thonon Culture Collection) : L'UMR héberge une collection de microalgues, c'est la seule collection de microalgues d'eau douce à présenter une aussi grande diversité de cultures (en particulier diatomées) en France. Je suis responsable de cette collection et organise avec les techniciennes la gestion, les envois et les repiquages des souches. Cette collection expédie des cultures à plus d'une dizaine de laboratoires en moyenne par an et est une ressource capitale pour l'UMR Carrtel.

1.5.2. Participation à l'encadrement des suivis scientifiques des grands lacs

Le suivi scientifique des quatre grands lacs représente une part importante de l'activité de l'UMR Carrtel et de mon activité personnelle. Je suis en charge des analyses phytoplanctoniques réalisées tous les 15 jours sur ces lacs ainsi que de la rédaction de rapports scientifiques. J'ai également une activité de conseil et d'encadrement dans deux cadres :

Pour la CIPEL (Commission International pour la Protection des Eaux du Léman) : Cette commission coordonne la politique de l'eau à l'échelle du bassin versant lémanique. Elle dispose de deux organes, un comité opérationnel (composé de gestionnaires et politiques) et un conseil scientifique (composé d'experts). Je suis membre du conseil scientifique depuis 2008.

Pour la CCLA (Communauté de Commune du lac d'Aiguebelette) : Le lac d'Aiguebelette, qui est suivi depuis les années 90 par l'UMR Carrtel, a intégré l'Observatoire des Lacs (OLA) en 2015. Je suis le responsable des suivis scientifiques de ce lac et des relations entre l'UMR et la CCLA. Je suis membre du comité consultatif de la réserve du lac d'Aiguebelette depuis 2017.

1.5.3. Réseaux scientifiques, normalisation et association scientifiques :

Réseau ADN-O : Montage depuis juin 2020 d'un nouveau réseau INRAE, sur l'utilisation de l'ADN environnemental pour l'étude des milieux aquatiques, en collaboration avec A. Bouchez, C. Chauvin, E. Quéméré.

Réseau Européen Cost DNAqua-net : Ce réseau rassemble environ 400 personnes (chercheurs, gestionnaires, privés), travaillant avec la métagénomique pour l'évaluation environnementale des milieux aquatiques. Je suis membre des WG1 (bases de référence) et WG2 (Indices biotiques et métriques). Ma collègue A. Bouchez et co-animatrice de ce réseau avec F. Leese (Univ. Essen, D) depuis 2018.

Base Diat.barcode : J'anime depuis 2016 un réseau d'une 15aine de scientifiques qui curent taxonomiquement régulièrement la bibliothèque de référence de barcodes ADN pour les diatomées Diat.barcode.

Réseau R-Syst : Réseau de Systématique de l'INRAE. Ce réseau regroupe une douzaine d'équipes de deux départements INRA (SPE, EFPA) impliquées dans la caractérisation moléculaire et morphologique d'organismes. Ce réseau a développé des outils informatiques pour l'identification des organismes. Ce réseau est copiloté par A. Franc (UMR Biogeco) et V. Laval (UMR Bioger). J'ai été membre de son conseil scientifique de 2014 à 2018 et j'ai pris une part active au développement de ses outils avec P. Chaumeil (UMR Biogeco) et ma collègue A. Bouchez.

BRC4env : le réseau des Centres de Ressources Biologiques pour l'Environnement (BRC4env) a pour but de stocker et fournir des ressources environnementales (matériel biologique et données associées), de manière sécurisée et avec une traçabilité optimale. Le BRC4Env est l'un des piliers de l'infrastructure nationale française "Ressources Agronomique pour la Recherche" (AgroBRC-RARE) et est animé par C. Mougin (UMR Ecosys). Je suis membre du comité de direction du BRC4env depuis 2018.

Je suis membre d'autres réseaux comme le Réseau des Microscopistes de l'INRAE (RμI) et le réseau Ecotox de l'INRAE.

Normalisation : De par le développement de nouvelles méthodes que nous menons à l'UMR et de par mon expertise sur les microalgues, j'ai été nommé expert à l'Afnor (Association Française de Normalisation) et au CEN (Comité européen de normalisation) il y a plus de 10 ans.

ADLaF (Association des Diatomistes de Langue Française) : Cette association regroupe une 100aine d'adhérents ayant pour sujet d'étude les diatomées. J'ai été le secrétaire de cette association entre 2002 et 2014.

1.6. Rayonnement scientifique

1.6.1. Activités éditoriales

Je suis reviewer régulier dans des journaux peer-review à raison de 8 à 10 de relectures par an pour les journaux suivants : Journal of Biogeography, Ecological Indicators, Hydrobiologia, Diversity and Distribution, Methods in Ecology and Evolution, Fottea, Ecotoxicology, Journal of Limnology, PlosOne, Freshwater Biology ... J'ai également été éditeur associé à la revue Diatom Research entre 2010 et 2012.

1.6.2. Organisation de colloques, tables rondes, sessions, conférencier invité

- Colloque joint Adlaf/CeDiatom, Thonon, 2013 :
J'ai été l'organisateur principal (120 personnes) du colloque joint entre le meeting des diatomistes Européen et l'Association des diatomistes de langue Française.
- Colloque R-Syst / Muséum national d'histoire naturelle « Taxonomie Intégrative: De la génomique aux collections » (Versailles, 2015) : membre du comité scientifique
- Sefs 9, Symposium for European Freshwater Sciences (Genève, 2015) : Co-organisateur de la session spéciale « Environmental DNA applications for freshwater ecosystems » avec A. Bouchez, F. Leese, F. Altermaat, J. Pawlowski.
- International Diatom Symposium (Berlin, 2018) : co-animateur (avec M. Ashworth, USA) d'une table ronde sur les bases de référence
- Je suis régulièrement invité à donner des présentations orales de nos travaux (liste complète en § 4.3)

1.6.3. Activités pédagogiques, organisation de colloques

J'interviens régulièrement dans deux types de formations, des formations professionnelles, dont certaines que j'ai organisées, et des formations universitaires.

- Formations professionnelles :
 - o J'ai été organisateur de plusieurs formations sur le phytoplancton et l'ADN environnemental à Thonon :
 - Stage « Initiation : utilisation du métabarcoding ADN pour la bioindication avec les diatomées » (Thonon) : 2019 (12 participants), 2020 (14 participants)
 - Stage « Initiation au phytoplancton » : 2015 (10 participants), 2012 (12 participants), 2011 (10 participants)
 - Journées d'harmonisation phytoplancton : 2015 (16 participants), 2014 (14 participants)
 - o Training school (organisation V. Vasselon, 15 participants), fev. 2019 : cours sur la base de référence « Diat.barcode »
 - o Formation de limnologie (organisée par l'AFB, environ 15 participants) : cours donnés sur le phytobenthos et le phytoplancton en lac, ½ journée tous les ans depuis 2015
- Formations universitaires :
 - o Master Ecomont (Univ. Savoie Mont-Blanc) : cours donnés sur le phytobenthos et le phytoplancton en lac, ½ journée tous les ans depuis 2015

- Master Hydrobiologie (Univ. Franche-Comté) : 1 journée de cours donnée sur les diatomées tous les ans entre 2008 et 2014.

1.7. Publications

1.7.1. Publications scientifiques dans revues à comité de lecture

La liste complète des publications est au paragraphe 4.1. J'ai publié 113 articles, dont 26 comme 1^{er} auteur et 15 en dernier auteur, la Figure 1 présente le nombre de publications par année et leur notoriété, la Figure 2 présente les contextes disciplinaires des publications (NORIA 2018).

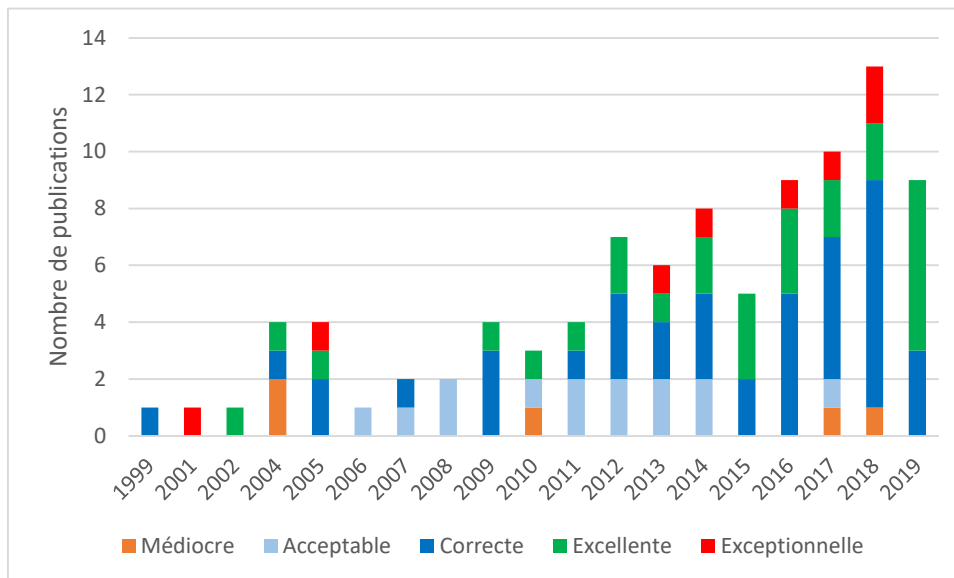


Figure 1 : Nombre de publications par année et leur notoriété (NORIA 2018).

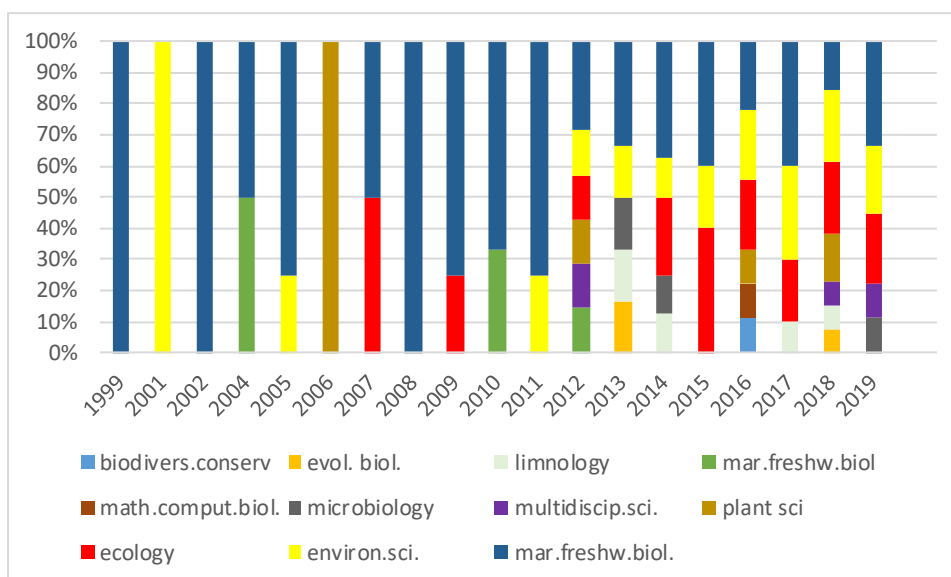


Figure 2 : Contextes disciplinaires des publications par années (NORIA 2018).

5 publications récentes :

Pérez-Burillo, J., Trobajo, R., Vasselon, V., Rimet, F., Bouchez, A., Mann, D.G., 2020. Evaluation and sensitivity analysis of diatom DNA metabarcoding for WFD bioassessment of Mediterranean rivers. *Science of The Total Environment* 138445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138445>

Rimet F., Anneville O., Barbet D., Chardon C., Crépin L., Domaizon I., Dorioz J.M., Espinat L., Frossard V., Guillard J., Goulon C., Hamelet V., Hustache J.C., Jacquet S., Lainé L., Montuelle B., Perney P., Quetin P., Rasconi S., Schellenberger A., Tran-Khac V., Monet G., 2020. The Observatory on LAKes (OLA) database: Sixty years of environmental data accessible to the public. *Journal of Limnology*. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2020.1944>

Rivera S., Vasselon V., Bouchez A., Rimet F., 2020. Diatom metabarcoding applied to large scale monitoring networks: Optimization of bioinformatics strategies using Mothur software. *Ecological Indicators*, 109: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105775>

Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A., 2019. Diat.barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-51500-6>

Tapolczai K, Vasselon V, Bouchez A, Stenger-Kovács C, Padišák J, Rimet F. 2019. The impact of OTU sequence similarity threshold on diatom-based bioassessment: A case study of the rivers of Mayotte (France, Indian Ocean). *Ecology and Evolution* 2018: 1–14. <https://doi.org/10.1002/ece3.4701>

1.7.2. Rapports de recherche, chapitres d'ouvrage

Tous les ans, je rédige des rapports à destinations des gestionnaires des grands lacs :

- Rapports pour la CIPEL (Léman) : rédaction de la section phytoplancton depuis 2007
- Rapports pour le CISALB (Bourget) : rédaction des sections phytoplancton et cyanobactéries toxiques depuis 2008
- Rapports pour le SILA (Annecy) : rédaction de la section phytoplancton depuis 2008
- Rapports pour la CCLA (Aiguebelette) : rédaction de la section phytoplancton depuis 2008, et coordination de la rédaction du rapport scientifique depuis 2017.

D'autre part, j'ai co-rédigé ou coordonné la rédaction de plusieurs rapports dans le cadre des programmes de recherche, notamment pour l'ONEMA et l'AFB, entre autres :

Vasselon V., Bouchez A., Rimet F., 2019. Développement d'outils de bioindication innovants basés sur le métabarcoding ADN pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau de Mayotte. INRA, AFB.

Rivera S.F., Vasselon V., Chardon C., Jacas L., Gueguen J., Bouchez A., Rimet F., 2018. Bioindication diatomées : comparaison microscopie/barcoding ADN. Rapport INRA. Convention AFB.

Enfin, j'ai participé à la rédaction d'une 10aine de chapitres d'ouvrages (liste complète en § 4.4).

2. Synthèse des travaux de recherche

2.1. Introduction

2.1.1. Contexte de ma candidature à une HDR

La synthèse de mes travaux s'étale sur une 20^{aine} d'années, avec cinq années passées au Centre de Recherche Public – Gabriel Lippmann (CRP-GL, Luxembourg) comme chercheur, puis trois années passées à la Direction Régionale de l'Environnement (Diren Lorraine) comme titulaire d'un poste d'hydrobiologiste et 13 années comme ingénieur d'étude à l'UMR Carrtel de INRAE à Thonon. Sur cette 20^{aine} d'années, il n'y a pas eu de changements brutaux de ma problématique scientifique, mais plutôt une évolution continue de mes connaissances en algologie, en écologie et en gestion des milieux aquatiques. Dans cette synthèse, je ne reprendrai pas tous les travaux que j'ai abordés, mais ceux qui me semblent les plus marquants en termes d'apports de connaissances et qui ont le plus orienté mes choix scientifiques pendant cette période.

Mes travaux de recherche ont démarré avec mon recrutement comme chercheur au CRP-GL (2000-2005), un centre de recherche public au Luxembourg. J'étais sous la direction de L. Hoffmann et L. Ector, deux algologues, l'un travaillant sur les cyanobactéries et l'autre sur les diatomées. J'ai été recruté sur un contrat Européen, dirigé par S. Lek (Univ. Paul Sabatier, Toulouse), dont l'objectif était de prédire les communautés biologiques utilisées comme indicateur de qualité des rivières pour la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Avec L. Ector, nous avons collaboré avec différentes équipes incluses dans ce projet (Univ. Paul Sabatier, Univ. Namur, ex-Cemagref maintenant INRAE, Alterra Wageningen...). J'ai effectué plusieurs séjours dans ces structures et plusieurs publications collectives ont pu être rédigées sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels pour le biomonitoring avec les diatomées. Des relations étroites avec les Diren et les Agences de l'Eau ont également été établies notamment pour accéder aux données et par l'intermédiaire de formations que nous organisons sur la taxonomie des diatomées et auxquelles je participais comme formateur. Par la suite, j'ai déposé avec L. Ector un projet de 3 ans au Fonds National pour la Recherche du Luxembourg (projet Modelecotox). Pendant ce projet, après une formation suivie à l'Alfred Wegener Institut (AWI, Bremerhaven) avec L. Medlin et B. Bestzeri, j'ai réalisé des isollements des cultures de diatomées, du séquençage Sanger, de l'analyse phylogénétique et des tests en écotoxicologie. Ces travaux ont donné lieu également à une collaboration avec l'AWI et une publication sur la phylogénie des diatomées. Pendant cette période de cinq ans, j'ai acquis des compétences scientifiques (en taxonomie, en écologie des diatomées benthiques, en biologie moléculaire, en analyse de données) et des compétences humaines et sociales (formations, collaborations, travail en groupe).

Mon contrat au Luxembourg arrivait à son terme, j'ai alors tenté et réussi un concours pour un poste d'hydrobiologiste à la Diren Lorraine (Direction Régionale de l'Environnement, 2007). Pendant les trois années passées dans cette direction, j'ai poursuivi un travail scientifique autour des diatomées et leur utilisation comme indicateur d'état écologique dans les sols en collaborant avec A. Bérard (INRA Avignon), et j'ai abordé la problématique de la répartition biogéographique des communautés de diatomées dans l'est de la France. Ces travaux ont donné lieu également à plusieurs publications. J'ai aussi participé à des travaux de normalisation à l'Afnor. J'ai pu renforcer des liens avec tous les laboratoires d'hydrobiologie des Diren et les laboratoires privés en hydrobiologie. Pendant ces trois années, je me suis bien approprié les missions et le fonctionnement interne des gestionnaires des milieux aquatiques : ceci a été capital pour des projets qui se sont concrétisés quelques années plus tard.

Je souhaitais cependant retrouver le monde de la recherche. En 2007, j'ai été recruté comme ingénieur d'étude à l'UMR Carrtel. Les activités de cette unité sont focalisées sur l'étude du fonctionnement des lacs en lien avec la gestion. Mes fonctions principales sont l'analyse du phytoplancton pour le suivi des grands lacs et le management d'une collection de cultures. Mais j'ai pu continuer à travailler sur les diatomées benthiques en écotoxicologie avec A. Bouchez. En effet, plusieurs expérimentations en mésocosmes lotiques étaient en cours

(dans le cadre d'une thèse codirigée par A. Bouchez et B. Montuelle). Nous avons poursuivi ces travaux en écotoxicologie dans le cadre de plusieurs thèses (A. Villeneuve, F. Larras, encadrement B. Montuelle, A. Bouchez) et projets en collaboration avec T. Caquet (projets Onema, projet Record, ANR) et N. Chèvre (projet Franco-suisse).

En parallèle de ces études en écotoxicologie, avec A. Bouchez, nous avons démarré des études sur l'utilisation des techniques de biologie moléculaire pour l'identification des communautés de diatomées : le barcoding et le métabarcoding. Ceci s'est fait d'abord dans le cadre d'un réseau de Systématique de l'INRA (réseau R-Syst dont j'ai été membre du conseil scientifique pendant plusieurs années). Une première thèse que j'ai montée avec A. Bouchez (thèse Cifre L. Kermarrec), co-encadrée par A. Franc (INRA Bordeaux) et A. Bouchez a démontré la possibilité d'utiliser le métabarcoding pour identifier les diatomées. Puis, une deuxième thèse financée sur un projet Onema (projet Mayotte, V. Vasselon) a permis d'avancer vers son utilisation en routine. Plusieurs projets Onema (puis AFB et OFB), Interreg (dont un avec I. Domaizon), ont permis de proposer une méthodologie transférable aux gestionnaires. Mes liens privilégiés avec les agents des Dreal (ex Diren) et laboratoires privés ont été mis à profit dans ces projets (accès à des centaines d'échantillons, proposition de formations et de tables rondes ...). A. Bouchez a également déposé avec l'Université d'Essen un projet européen Cost qui a été accepté (2017-2020) : ce réseau, qui finance essentiellement des déplacements, est une formidable opportunité pour créer des collaborations, inviter des étudiants. J'y anime deux groupes de travail en systématique (base de référence diatomées et normalisation des bibliothèques de référence). Ces développements se poursuivent avec la thèse de S. Rivera que je co-encadre avec A. Bouchez, sur l'utilisation des biofilms comme capteur d'ADN poisson et macroinvertébrés.

Enfin, à côté de ces études en écotoxicologie et métabarcoding, j'ai poursuivi en lien étroit avec A. Bouchez, plusieurs études sur l'écologie des diatomées et leur utilisation comme bioindicateur, aussi bien en rivière qu'en lac. Deux thèses que j'ai co-encadrées ont été menées dans ce cadre, celle de K. Tapolczai (développement d'indices de qualité basé sur les diatomées à Mayotte en utilisant des métriques alternatives), et celle de F. Keck (utilisation de la phylogénie pour la bioindication). Les outils que ces doctorants ont développés sont maintenant utilisés, d'une part par les gestionnaires (K. Tapolczai) et d'autre part par la communauté scientifique (F. Keck, package R, nouveaux outils de bioindication).

Devant l'apparente multiplicité des sujets que j'ai abordés, il me semblait nécessaire depuis plusieurs mois, de réaliser un travail de synthèse. L'objectif est d'en tirer les lignes directrices et d'établir des perspectives de recherche. Mes travaux ont évolué grâce à mon expérience de scientifique, d'encadrant (doctorants, post-doctorants, masters, techniciens), de formateur (cours à de masters, stage de formation), de collaborateur dans le cadre de différents réseaux et projets scientifiques, de conseil auprès des gestionnaires, et enfin d'animateur d'axe thématique au sein de l'UMR Carrtel (axe DiagnosE).

2.1.2. Cadre de la démarche scientifique

Très tôt, mes travaux scientifiques se sont situés dans un cadre appliqué, pour l'évaluation et le monitoring de l'environnement, aussi bien au CRP-GL, en Diren puis enfin à l'UMR Carrtel (cf. § 2.1.1). A partir du moment où j'ai été engagé à l'INRA, ma démarche scientifique s'est inscrite dans les orientations de mon département de rattachement EFPA (Ecologie de Forêts, Prairies et milieux Aquatiques). Ces orientations se sont d'ailleurs réaffirmées avec la création de INRAE (fusion INRA et Irstea) et la création du nouveau département AQUA. Ce département est dédié spécifiquement aux enjeux de l'eau et des milieux aquatiques et considère l'état écologique des milieux, leur biodiversité, les ressources hydrologiques et biologiques, les risques naturels et environnementaux ainsi que la gouvernance de l'eau et des milieux associés. L'eau est devenue à juste titre un enjeu central dans l'institut. Mes travaux s'insèrent dans l'un des défis du département « Enrayer la dégradation des écosystèmes aquatiques et la perte de biodiversité sous stress multiples » : la préservation de la biodiversité

est nécessaire pour le bon fonctionnement des écosystèmes et pour le maintien des services écosystémiques. Plusieurs verrous scientifiques sont identifiés, notamment des questions de recherche en écologie aquatique, comme l'influence des facteurs globaux et locaux, ceci à différentes échelles de temps. D'autres questions importantes touchent aux outils de diagnostic, à leur évolution vers des méthodes prédictives et plus fonctionnelles.

Les microalgues constituent un élément essentiel dans les milieux aquatiques : se sont les principaux producteurs primaires en terme de biomasse et leur biodiversité se chiffre à plusieurs dizaines de milliers d'espèces. A titre d'exemple, environ 1000 espèces de diatomées sont présentes dans les rivières de l'Est de la France et plus de 600 espèces sont recensées uniquement dans le phytoplancton du Léman. Cette diversité traduit la multiplicité des stratégies adaptatives mises en place par les microalgues afin de répondre aux stress biotiques et abiotiques. Les microalgues colonisent tous les habitats aquatiques (Smol and Stoermer, 2010), mais présentent aussi des biomasses importantes dans les sols (Bérard et al., 2004). Ces propriétés -diversité taxonomique, caractéristiques écologiques des taxons, ubiquité- font le succès de leur utilisation comme bioindicateur. Parmi les microalgues, il y a une classe algale particulièrement diverse et ubiquiste, il s'agit des Diatomées. Elles sont souvent un excellent résumé de l'intégralité de la communauté algale, surtout en milieu benthique, puisqu'elles composent généralement l'essentiel de la biomasse et de la biodiversité du compartiment algal (Kelly et al., 2008). Mes travaux se placent précisément dans l'objectif de l'utilisation des diatomées comme indicateur et mes questions de recherche découlent de cet objectif. Elles se divisent en trois thèmes :

- Mesurer la diversité des diatomées : comment définir les limites d'espèces ? quels outils utiliser pour identifier les espèces ?

L'utilisation des microalgues comme bioindicateurs repose sur la composition en espèces de leurs communautés. Le mot « espèce » est d'ailleurs le mot le plus utilisé dans les publications portant sur la pollution et les diatomées (Rimet, 2012) : il s'agit de la brique élémentaire à la plupart des études sur l'écologie des diatomées. Il m'est apparu donc nécessaire lors de mes travaux, d'aborder la question de la définition des limites d'espèces, mais aussi de décrire de nouvelles espèces lorsque cela était nécessaire et de développer des outils novateurs rendant plus facile l'identification des espèces (barcoding). Ces thèmes sont présentés au § 2.2.

- Quels facteurs biotiques et abiotiques contrôlent les communautés de diatomées ? La démarche que j'ai entreprise est semblable de celle de (Humboldt and Bonpland, 1805). Elle est la base d'un travail en écologie : après avoir classifié les organismes, le lien entre la présence des espèces et les facteurs environnants est recherché (Figure 3). L'établissement de liens entre composition en espèces et facteurs environnementaux est l'étape nécessaire avant de pouvoir utiliser les diatomées comme outil de surveillance des écosystèmes. Les facteurs que j'ai étudiés sont principalement physiques (turbulence), chimiques (nutriments, matière organique, micropolluants) et géologiques. Ce thème est présenté au § 2.3.

- Développement d'outils de bioindication. Les diatomées sont utilisées depuis plusieurs dizaines d'années comme indicateur de qualité des milieux (Zelinka and Marvan, 1961), et de nombreux outils existent. Mais ils comportent des écueils. Plusieurs stratégies ont été testées pour les éviter : réduction de la résolution taxonomique, utilisation de métriques écologiques et fonctionnelles, utilisation des liens entre phylogénie et écologie. Ces stratégies sont issues directement des résultats de la recherche fondamentale et viennent alimenter la recherche appliquée. Ce thème est présenté au § 2.4.

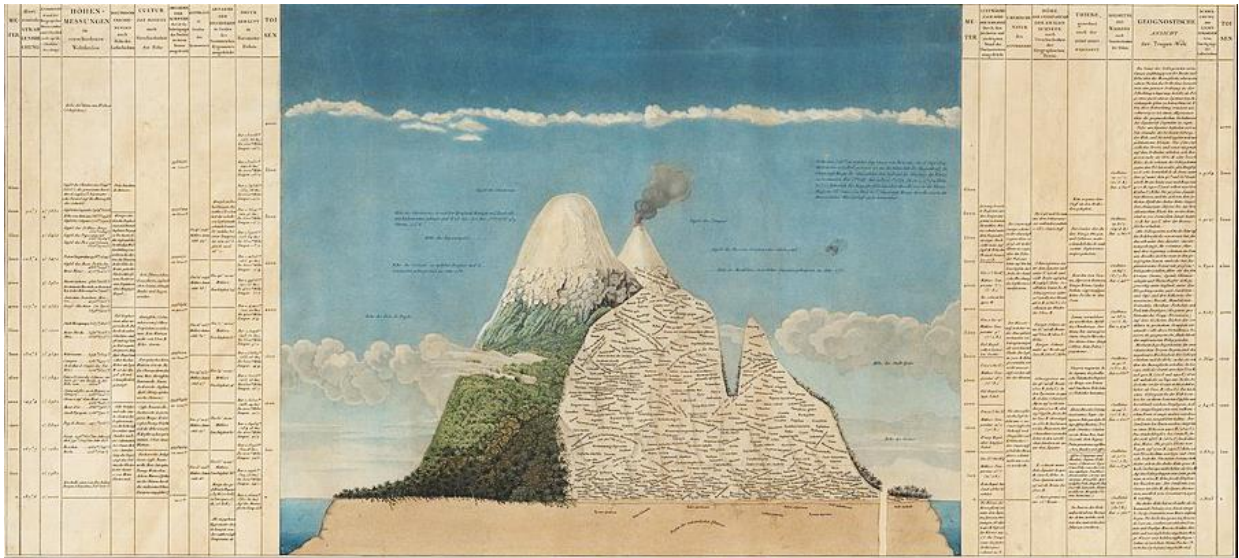


Figure 3 : Coupe des volcans Chimborazo et Cotopaxi, les noms des espèces végétales sont notés sur la montagne et sont mis en lien avec des paramètres de milieu comme par exemple l'altitude, les courants atmosphériques, la pression, les phénomènes électriques atmosphériques (Humboldt and Bonpland, 1805).

2.2. La taxonomie, une discipline nécessaire

2.2.1. Contour d'espèce et taxonomie intégrative

La description et la classification sont des préoccupations fondamentales de la science. La classification des objets à étudier est nécessaire avant de pouvoir dégager des principes généraux de fonctionnement (Sokal, 1966). La taxonomie à cet objectif en biologie qui est de décrire et classer les organismes vivants. La brique élémentaire en taxonomie est l'espèce. D'autre part, les biologistes ont toujours recherché à améliorer les classifications existantes, par exemple en adoptant de nouveaux critères ou de nouvelles méthodes permettant de mieux dessiner les contours d'espèces.

Ce processus a bien évidemment touché la taxonomie des diatomées. Mann (1999) donne une vue historique de l'évolution du concept d'espèce pour les diatomées et des différents critères utilisés pour la description et la classification de ses espèces. La taxonomie des diatomées est traditionnellement basée sur l'observation en microscopie optique de la morphologie du squelette extracellulaire (frustule). L'observation de ce même squelette s'est affinée à partir des années 70 avec des observations en microscopie électronique d'ultrastructures du frustule non visibles en optique. L'ouvrage de Round et al. (1990) comporte de nombreuses illustrations en microscopie électronique et a entraîné une révision en profondeur de la taxonomie des diatomées. J'ai d'ailleurs décrit ou participé à la description de plusieurs espèces sur la base de critères morphologiques à l'aide d'observations en microscopie optique et électronique (*Achnantheidium atomoides* Monnier, Lange-Bertalot et Ector, *A. druartii* Rimet & Couté, *Adlafia langebertalotii* Monnier et Ector, *Nitzschia costei* Tudesque, Rimet et Ector). Nos descriptions morphologiques ont toujours été accompagnées de descriptions écologiques dans l'objectif de l'utilisation de ces espèces pour le diagnostic environnemental. Cependant, le critère morphologique, choisi par commodité car facilement étudiable, montre des faiblesses puisque de nombreux taxons présentent une plasticité phénotypique. De nombreuses descriptions d'espèces peuvent être remises en question car le cycle de vie des diatomées n'a pas été considéré par les auteurs des espèces en question (cf. la démonstration faite pour les *Gomphonema parvulum* dont le cycle a été observé en culture par Rose and Cox, 2014). L'utilisation du critère morphologique seul, a probablement entraîné une inflation taxonomique : par exemple dans le genre *Stauroneis* certaines espèces sont décrites uniquement sur base morphologiques avec des critères quasi indiscernables même par les auteurs des espèces (Van De Vijver et al., 2002).

Il est alors possible d'utiliser le critère biologique tel qu'énoncé par Mayr (1942), c'est à dire savoir si les individus sont interféconds. Ce type de critère est observable chez les diatomées, à la condition de pouvoir l'observer sur des échantillons frais. La plupart des publications utilisant ce critère réalisent des tests d'appariement d'individus de plusieurs cultures monoclonales (ex. Mann and Chepurnov, 2005 ; Sabbe et al., 2004 ; Trobajo et al., 2009). Il est donc nécessaire que les individus soient cultivables, ce qui n'est pas le cas de toutes les espèces et ce qui rend donc l'utilisation de ce critère difficile. D'autre part, ce critère trouve ses limites pour les lignées autogamiques¹ ou les lignées apomictiques² (cf. cas des *Sellaphora pupula*, étudiés par Mann et al., 2004), puisque chaque individu peut être considéré comme isolé reproductivement et donc former une espèce à part entière.

Le critère génétique est utilisé plus récemment pour définir des espèces, notamment dans des complexes d'espèces. Pour les diatomées, ce critère est la plupart du temps utilisé en association avec le critère morphologique. L'utilisation de plusieurs critères est devenue une évidence pour les taxonomistes après la formalisation du concept de taxonomie intégrative (Dayrat, 2005) : la taxonomie ne doit plus être basée sur un seul critère mais doit intégrer de multiples critères (critères morphologiques, écologiques, moléculaire,

¹ mode de reproduction sexuée, dans laquelle les deux gamètes sont issus du même individu.

² mode de multiplication asexuée, sans fécondation et avec modification de la méiose.

comportemental...). La façon dont ces critères doivent être intégrés peut-être faite de manière différente (cf. Figure 4) et peu avoir un impact sur le nombre d'espèces créées.

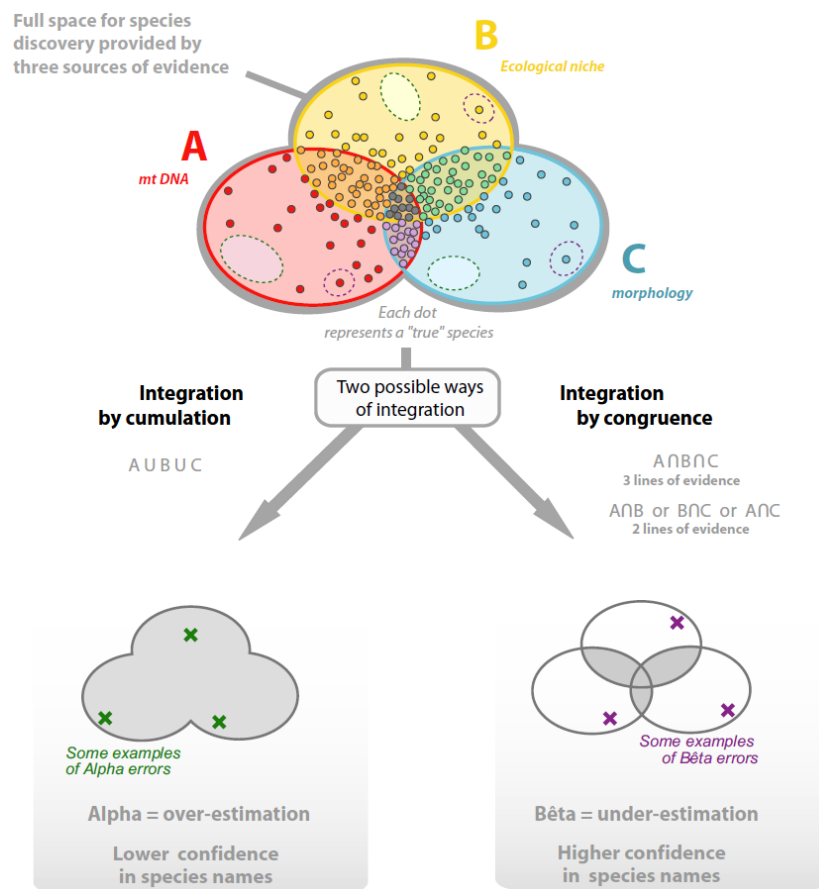


Figure 4 : Taxonomie intégrative, la délimitation d'espèce se fait sur la base de plusieurs critères. Ces critères peuvent être intégrés de différentes manières. Soit par accumulation, soit par congruence. Schéma issu de Padial et al. (2010).

Ce concept a d'ailleurs été utilisé -sans le nommer- pour les diatomées par exemple pour des complexes d'espèces marines comme les *Skeletonema* (Zingone et al., 2005 ; Sarno et al., 2005 ; Sarno et al., 2007).

J'ai personnellement abordé cette problématique de contour d'espèce en utilisant les critères moléculaires et morphologiques pour *Nitzschia palea*, une espèce indicatrice des milieux riches en matière organique (Rimet et al., 2014). Cette espèce présente une diversité morphologique importante, et de nombreuses variétés, voire espèces, ont été décrites dans ce complexe d'espèce. D'autre part ce taxon présente une diversité moléculaire importante. Notre question était de savoir si un critère objectif pouvait être défini pour fixer des contours à des espèces cryptiques de *N. palea*. En utilisant plus de 80 clones provenant d'une 40aines de localités, nous avons montré qu'il n'y avait pas de lien entre données morphologiques et moléculaires. Ensuite, aucune méthode n'a permis de définir de façon objective des espèces dans *N. palea* sur base moléculaire (trois marqueurs testés, chloroplastique, mitochondrial et nucléaire), ni sur base biologique (Trobajo et al., 2010), et certains génotypes avaient une distribution intercontinentale. Une relation positive entre la distance génétique et la distance géographique existait, ce qui suggérait une limitation des flux de gènes par les barrières géographiques et qu'une

part de la diversité moléculaire de *N. palea* est encore inconnue, étant donné que de nombreuses régions n'avaient pas été échantillonnées (Afrique, Amérique du Sud ...).

Le contour d'espèce à l'intérieur d'un autre complexe d'espèces, *Gomphonema parvulum*, a été étudié dans le cadre de la thèse de L. Kermarrec avec des conclusions assez différentes de *N. palea* (Kermarrec et al., 2012). Ici aussi, de nombreuses variétés et espèces ont été décrites dans ce complexe. Cependant nous avons montré que les critères classiquement utilisés pour la description des taxons de ce complexe d'espèces n'avaient pas de liens avec les données moléculaires (trois marqueurs utilisés). Par contre, d'autres critères morphologiques, rarement utilisés avaient un lien avec les clades moléculaires de *G. parvulum*, ce qui remettait en cause de nombreux travaux taxonomiques réalisés sur ce groupe. Enfin, une structuration biogéographique apparaissait clairement. Ces travaux ont été concrétisés par la description formelle d'espèces par l'équipe du Jardin Botanique de Berlin (Abarca et al., 2014). J'ai également décrit, en collaboration avec l'équipe Jardin Botanique de Berlin, une nouvelle espèce à Mayotte en utilisant des critères morphologiques et moléculaires (*Gomphonema clavatuloides* Rimet, D.G. Mann, Trobajo et N. Abarca, décrite dans Rimet et al., 2018a).

Des travaux similaires sur le genre *Fragilaria* ont été entrepris en collaboration avec des collègues Européens. De la même manière que pour *Gomphonema parvulum*, en utilisant des données moléculaires et morphologiques de 194 clones, nous avons montré que les critères morphologiques classiquement utilisés pour les contours d'espèces de ce genre n'avaient pas de lien avec les données moléculaires : ces taxons ont une plasticité phénotypique importante qui est classiquement mal prise en compte. D'autres critères morphologiques doivent être pris en compte, ces critères sont difficiles à observer en microscopie optique (présence et formes des épines, formation de colonies, position de rimoportula) et nous avons décrit trois nouvelles espèces à ce titre.

La façon dont sont définies les espèces est d'une importance majeure, car l'espèce est l'élément de base pour l'évaluation environnementale ou la conservation des espèces. Par exemple, Agapow et al. (2004) ont montré pour des organismes supérieurs, que des relevés fondés sur un concept d'espèces phylogénétiques montrent un plus grand nombre d'espèces (+48 %) mais une diminution de la taille et de l'aire de répartition de leur population par rapport à un concept d'espèce morphologique traditionnel. Ceci peut avoir des conséquences importantes sur la conservation des espèces, sur le nombre d'espèces en voie de disparition et entraîner des difficultés pour la mise en œuvre de leur protection.

La conclusion générale de ces travaux souligne l'importance d'avoir une définition d'espèce la plus naturelle possible et la plus intégrative possible pour les diatomées. Des auteurs sont allés jusqu'à intégrer quatre types de critères différents pour un groupe d'espèces de *Nitzschia* : biologiques, morphologique, moléculaire et écologique (Rovira et al., 2015 ; Trobajo et al., 2009 ; Kelly et al., 2015 ; Trobajo et al., 2013), mais intégrer autant de critères reste une exception. Une bonne définition des contours d'espèce est la condition pour développer des outils d'évaluation environnementale robustes et fiables. Le lien entre taxonomie et développement des outils est développé dans les paragraphes 2.4.1 et 2.4.2.

2.2.2. Rendre l'identification des diatomées reproductible, précise et démocratique

Il y a une demande grandissante des besoins en termes d'évaluation de la biodiversité, en termes de conservation des espèces, de leur gestion et aussi pour une meilleure compréhension du monde naturel (Wheeler et al., 2004). D'un autre côté, les financements alloués aux études taxonomiques afin de décrire les organismes qui nous entourent n'augmentent pas et le nombre de spécialistes capables d'identifier ces mêmes organismes stagne, voire diminue. De plus, traditionnellement la description d'espèce est faite dans des journaux spécialisés, souvent inconnus du grand public, dont la diffusion est restreinte aux universités et instituts de recherche, ce qui est en contradiction avec la demande sociétale grandissante de compréhension et de préservation de la nature (Godfray, 2002).

Des solutions sont proposées pour démocratiser l'accès à la connaissance de la biodiversité et à son identification. D'une part, pour démocratiser l'accès à la taxonomie, il a été largement conseillé, dès le début des années 2000, de diffuser les informations via des plateformes internet libre d'accès (Godfray, 2002 ; Wheeler et al., 2004). C'est ce que proposent des plateformes telles que Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org), Species 2000 (www.sp2000.org), Encyclopedia of Life (<https://eol.org>), tree of life (<http://tolweb.org/tree/>). Pour les diatomées, la base taxonomique de référence est Diatom.base (<http://www.diatombase.org/>) et je fais partie de son comité éditorial (Kociolek et al., 2018). Souvent ces bases taxonomiques affichent également des cartes de répartitions des espèces, comme c'est le cas pour la France avec par exemple l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (<https://inpn.mnhn.fr>) ou le Gbif.

D'autre part, la démocratisation de l'identification, est aussi un challenge important à relever, particulièrement pour des protistes comme les diatomées. Il n'existe quasiment pas de clés d'identification pour les espèces de diatomées (les seules qui existent permettent d'identifier seulement les espèces les plus communes). Les personnes identifiant les diatomées sont formées sur plusieurs années, et font appel à leur mémoire pour identifier les espèces en utilisant des dizaines d'ouvrages. Pour dépasser ses limitations, qui existent pour beaucoup d'autres groupes biologiques, Hebert et al. (2003) ont proposé d'identifier les organismes en utilisant de courtes séquences génétiques, abondantes dans le génome des individus à étudier et faciles à séquencer, et qu'il nomme « barcodes ADN ». En séquençant ces séquences cibles pour un organisme que l'on cherche à identifier, il est alors possible d'obtenir son nom taxonomique en comparant sa séquence à une bibliothèque de référence de barcodes. Ce concept a été repris pour l'identification des diatomées et plusieurs barcodes ont été testés (Moniz and Kaczmarek, 2009 ; Mann et al., 2010 ; Moniz and Kaczmarek, 2010 ; Hamsher et al., 2011).

Avec l'arrivée des séquenceurs haut-débit, le concept de métabarcoding a été introduit (Pompanon et al., 2011). La méthode (Figure 5) consiste à extraire l'ADN total d'un échantillon environnemental (sol, eau, biofilm), puis de cibler le barcode ADN spécifique de la communauté biologique à étudier, d'amplifier par PCR (polymerase chain reaction) un barcode cible et de le séquencer avec un séquenceur haut-débit. Afin d'établir l'inventaire taxonomique de l'échantillon, les millions de séquences obtenues sont alors comparées à une bibliothèque de référence au moyen d'outils bioinformatiques. Cette méthode a été rapidement utilisée par exemple en écologie terrestre pour l'étude du régime alimentaire de mammifères ou en écologie aquatique pour la détection d'espèces invasives (Valentini et al., 2009).

Nous nous sommes également emparés de cette méthodologie avec ma collègue A. Bouchez pour l'identification des diatomées et avons été précurseurs dans le domaine. Plusieurs thèses (L. Kermarrec, V. Vasselon) ont permis de développer et tester les différentes étapes de la méthode (Figure 5).

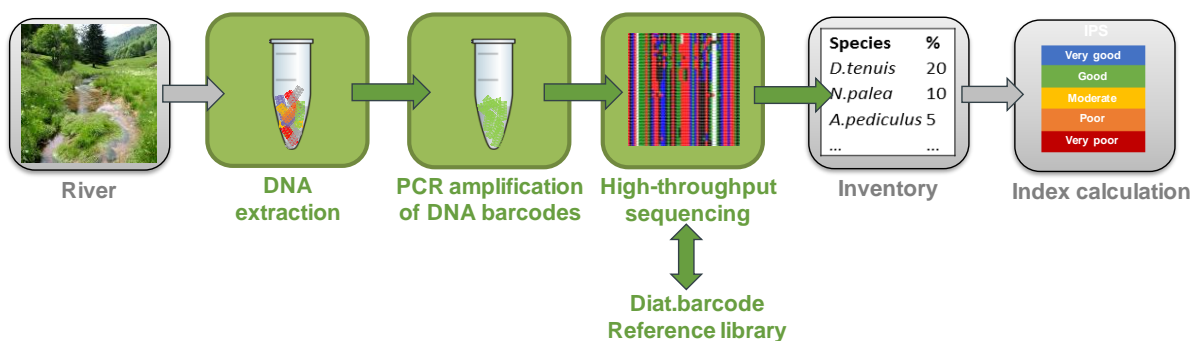


Figure 5 : Etapes du métabarcoding, appliquées aux diatomées.

En particulier, la thèse de L. Kermarrec a permis de définir quel était le marqueur le plus adapté au métabarcoding –un court barcode de 312 bp dans le rbcL- (Kermarrec et al., 2013). Puis, elle a montré sur des

échantillons d'environnements naturels variés qu'il était possible d'identifier les espèces de diatomées aussi précisément en métabarcoding qu'en microscopie (Kermarrec et al., 2014). La thèse de V. Vasselon a permis ensuite de savoir si le choix du kit d'extraction avait un impact sur les résultats d'inventaires (Vasselon et al., 2017a). Il a ensuite montré que le nombre copies de gène de rbcL dépendait du biovolume des espèces de diatomées et avait un impact sur l'abondance des lectures des séquences de ces espèces (reads) dans les inventaires moléculaires. Il a donc proposé un facteur de correction basé sur les biovolumes spécifiques pour rendre les inventaires moléculaires plus proches de ceux des inventaires microscopiques (Vasselon et al., 2018). Puis il a montré que l'identification moléculaire des espèces de diatomées et qu'une évaluation basée sur ces identifications moléculaires était similaire à celle obtenue en microscopie sur le réseau de surveillance des rivières de Mayotte (Vasselon et al., 2017b). Nous avons ensuite démontré la même chose sur environ 450 sites du réseau des rivières métropolitaines (Rivera et al., 2020), ainsi que sur le littoral du lac du Bourget (Rivera, 2017). Nous avons également montré, sur un large ensemble de lacs d'altitude (Rimet et al., 2018b) et sur des échantillons provenant de carapace de tortues marines (Rivera et al., 2018), que le métabarcoding en utilisant le rbcL pour l'identification des diatomées, permettait d'avoir une précision d'identification supérieure à celle de la microscopie : un niveau infraspécifique peut-être atteint (cf. Figure 6).

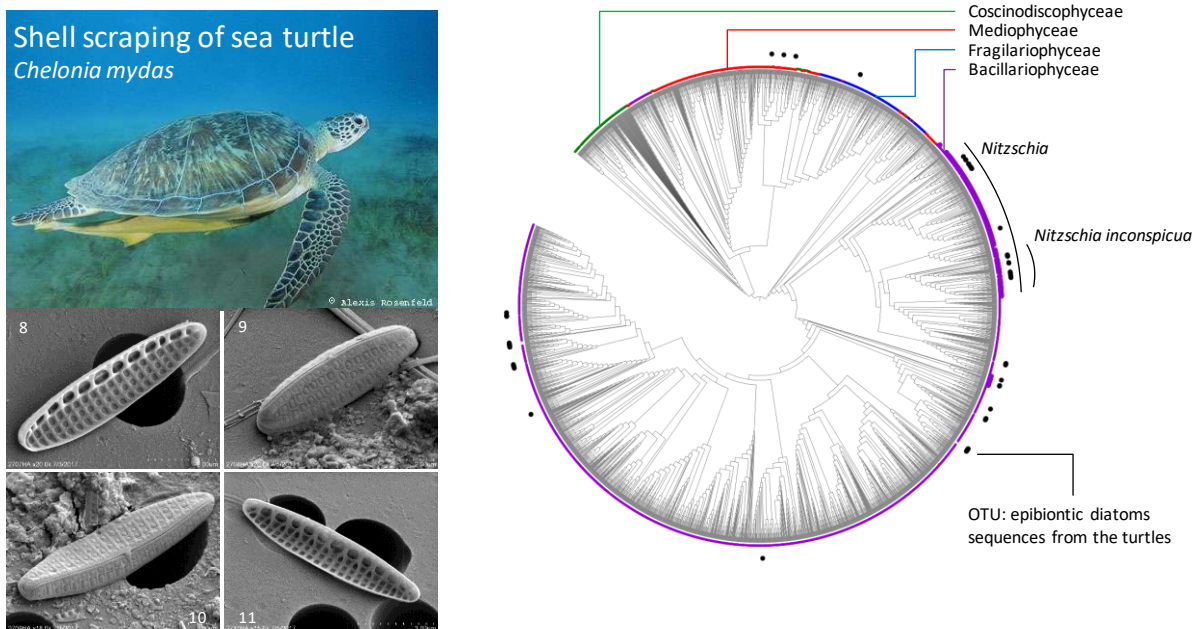


Figure 6 : Séquençage haut-débit de biofilms issus de carapaces de tortues (Mayotte, N’Gouja, oct. 2015). Sur cette phylogénie générale des diatomées, les séquences environnementales sont identifiées avec des points noirs. On observe que dans l’espèce *Nitzschia inconspicua*, plusieurs génotypes sont détectés sur les carapaces de tortues. Ces génotypes ne sont pas co-occurents et laissent supposer qu’ils proviennent d’habitats différents que les tortues ont fréquentés.

Ces identifications moléculaires sont rendues possibles par une bibliothèque de référence que nous curons et maintenons à jour depuis 2009 (Rimet et al., 2016b), qui fait parti du réseau de systématique INRA R-Syst. Plus récemment cette base est maintenant curée avec un collectif d’une 10aine de chercheurs étrangers que j’anime (Allemagne, Croatie, Espagne, France, Luxembourg, Royaume-Unis, Russie, Suède) : la base Diat.barcode (Rimet et al., 2019). Cette base qui est en open-access via un site internet, va dans le sens d’une démocratisation de l’identification des diatomées : plus besoin d’être un expert formé sur plusieurs années, il suffit de savoir télécharger un fichier sur internet ! Cependant une part importante de la diversité en diatomées d’eau douce (et

marines) n'est pas encore séquencée (Weigand et al., 2019). Habituellement, pour barcoder une espèce de diatomées, l'espèce est isolée et mise en culture. Cette technique, longue et fastidieuse, est souvent vouée à l'échec puisque de nombreuses espèces sont non cultivables. Nous avons proposé une méthode rapide, basée sur le séquençage haut-débit d'échantillons naturels et permettant d'attribuer avec sécurité des barcodes à de espèces ciblées (Rimet et al., 2018a). Cette méthode a été déployée sur la métropole en 2016 et a permis de séquencer des espèces importantes pour la bioindication. Elle est à nouveau déployée en 2020 pour compléter au mieux Diat.barcode dans le but que le métabarcoding puisse être utilisé en routine pour l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques.

La démocratisation vient aussi d'une augmentation du débit de séquençage et d'une diminution des couts par mégabytes (cf. Figure 7 issue de Keck et al., 2017). Enfin, certains séquenceurs haut-débit sont miniaturisés et peuvent être utilisés dans des laboratoires de campagne où sur le terrain, comme c'est le cas des séquenceurs portables d'Oxford Nanopore Technology MinION (Krehenwinkel et al., 2019). Nous pouvons imaginer que dans un futur proche, l'identification des diatomées sera accessible au plus grand nombre, dans des laboratoires nécessitant moins d'infrastructures où même qu'il sera possible d'identifier les diatomées *in situ* au moyen de séquenceurs de poche.

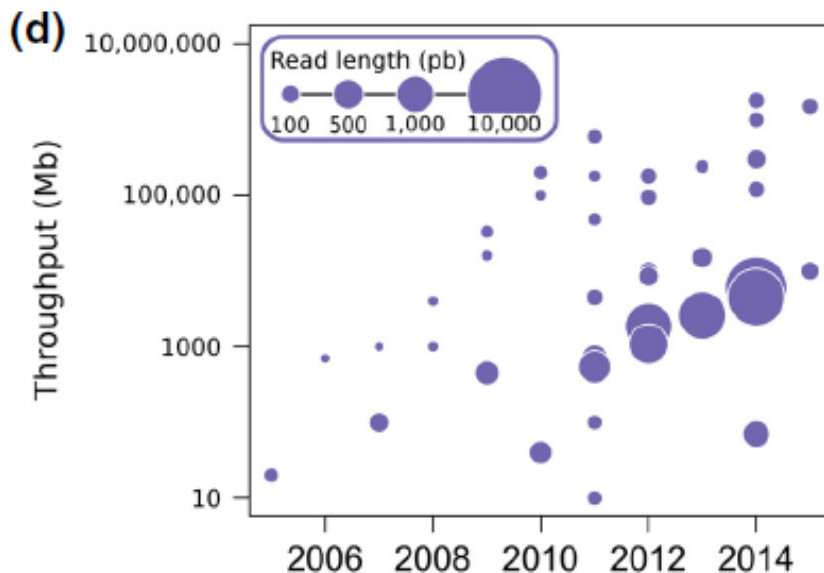


Figure 7 : Evolution de la longueur des séquences et du débit des séquenceurs haut-débits (Keck et al., 2017).

2.3.Écologie des diatomées : une connaissance nécessaire pour leur utilisation comme outil d'évaluation environnementale

La connaissance de l'écologie des taxons de diatomées est un prérequis à leur utilisation comme indicateur écologique. Dans leur ouvrage sur l'utilisation des diatomées dans les sciences de l'environnement (Smol and Stoermer, 2010) distinguent trois périodes dans l'histoire de l'étude de l'écologie des diatomées.

La première est **la période de l'exploration** (1830-1900) : les personnes qui étudiaient les diatomées étaient attachées à la description de nouvelles espèces, de leur cycle de vie, de leur physiologie, de leur répartition géographique. On peut retrouver des descriptions très littérales et naturalistes de l'écologie des espèces chez plusieurs auteurs français comme le frère J. Héribaud (Héribaud, 1893)³, ou le pharmacien J. Brun (Brun, 1880)⁴. Une particularité régulièrement rencontrée dans les ouvrages de l'époque est que les diatomées sont régulièrement dessinées dans leurs formes vivantes et coloniales (si elles en présentent) et même, si celle-ci sont benthiques, leurs modes d'attachements aux substrats sont représentés. Les espèces sont donc régulièrement représentées dans leur microenvironnement. Ces modes de représentations « in vivo » ne sont plus utilisés dans les flores actuelles ou alors que très rarement (ex. Cox, 1996) : ce type de représentation est pourtant intéressant car il permet de comprendre assez facilement la niche écologique des espèces. Aujourd'hui, d'autres techniques sont utilisées : par exemple des photographies en microscopie confocale permettent de savoir où les cellules des microorganismes se situent dans l'architecture des biofilms. Cette méthode, couplée à de la transcriptomique, permet de comprendre et de situer la fonction des diatomées et des autres microorganismes dans les biofilms (ex. Battin et al., 2016 ; Bengtsson et al., 2018).

La deuxième est **la période de la systématisation** (1900-1970) : pendant cette période, les chercheurs ont essayé de synthétiser la mosaïque d'informations existantes en des informations aux dimensions plus faciles à communiquer. Par exemple, ils ont défini les spectres écologiques des espèces pour différents paramètres en utilisant des classifications (classes de saprobie, de trophie, de pH, de salinité...etc...). Des auteurs français comme Bourrelly et Manguin ont suivi cette tendance et ont utilisé des classifications écologiques (Bourrelly and Manguin, 1952)⁵. Les auteurs les plus connus qui ont proposé des classifications sont Hustedt pour le pH et l'oxygène (Hustedt, 1938, 1957) et Kolkwitz et Marson avec le système des saprobies (Kolkwitz and Marson, 1908). La classification de Kolkwitz et Marson a ensuite été reprise et modifiée par différents auteurs. Ces différentes classifications (avec celles d'autres auteurs), ont été finalement synthétisées dans la check-list de Van-Dam qui est toujours utilisée par les praticiens et écologues utilisant les diatomées comme indicateurs écologique (Van Dam et al., 1994).

La troisième période est **la période de l'objectivation** (à partir de 1970) : avec l'avènement des ordinateurs, l'écologie des diatomées a pu être définie de manière beaucoup plus précise, avec l'utilisation de méthodes statistiques. Lange-Bertalot est l'un des auteurs les plus connus qui a proposé une classification des espèces en fonction du niveau de pollution en les mettant en relation avec la physico-chimie (Lange-Bertalot, 1979). A la même époque en France, Coste dans sa thèse (Coste, 1978) réalise des analyses multivariées (cf. par exemple en page 96 de son document de thèse) en utilisant quelques dizaines de listes floristiques. Ce type de méthode

³ Un exemple de description de Héribaud : « *Cocconeis salina* : Parasite des plantes aquatiques des eaux stagnantes, surtout sur les algues filamenteuses ». *Cocconeis salina* est une ancienne variété de *Cocconeis pediculus*, espèce épiphyte commune en eau douce.

⁴ Un exemple de description de Brun : « *Asterionella formosa* : cette belle espèce habite surtout dans les eaux limpides des Alpes élevées (Lancet de la vallée de Bagnes, Zinal, Chamonix). Ça et là dans le lac de Genève et au pied du Jura (au Boveret, à Crevin-sous-Salève). – Rare »

⁵ Un exemple de description Bourrelly et Manguin : « *Frustulia vulgaris* : forme oligohalobe, indifférente, alcalinophile des eaux courantes ou dormantes, aérophile. Espèce cosmopolite ». Les termes « oligohalobe », « alcalinophile », « aérophile » font appel à des classifications concernant respectivement la salinité, l'alcalinité, l'humidité.

statistique avait été introduite en écologie aquatiques quelques années plus tôt pour l'étude des macroinvertébrés (Verneaux, 1973). Coste propose un indice dont le calcul se fait sur la base d'un tableau à double entrée, sur le même principe que l'Indice de Qualité Biologique Globale basé sur les macroinvertébrés (I.Q.B.G., Verneaux et al., 1976). Quelques années plus tard, Coste réalise une analyse canonique des correspondances (mise en relation des données floristiques et physico-chimiques) qui lui a permis de définir un indice (IPS) avec pour plusieurs centaines d'espèces, les valeurs de sensibilité et de sténoécie à la pollution (Cemagref, 1982). Cet indice est toujours utilisé dans plusieurs pays d'Europe dans le cadre de la Directive Européenne sur l'Eau (ex. Espagne, Portugal, Pologne, Luxembourg). En ce qui me concerne, j'ai participé au développement de plusieurs outils de bioindication qui reposent aussi sur ce principe (cf. § 2.4).

Pendant cette période d'objectivation, Smol and Stoermer (2010) indiquent que les études se sont aussi attachées à déterminer quelles sont les variables qui affectent le plus les diatomées. De nombreuses études ont cherché à hiérarchiser les facteurs environnementaux selon leurs degrés d'impact sur les communautés de diatomées. C'est dans ce cadre que s'inscrivent plusieurs de mes travaux sur l'écologie des diatomées (au sens large, puisque j'y intègre aussi les études d'écotoxicologie). Les paramètres environnementaux impactant les communautés de diatomées dans les milieux aquatiques peuvent se rassembler en deux grands types de facteurs :

- les facteurs physiques (turbulence de l'eau, broutage, type de substrat, charge sédimentaire, la luminosité... cf. § 2.3.1)
- les facteurs chimiques (nutriments, matière organique, pH, minéralisation, micropolluants... cf. § 2.3.2).

Des facteurs plus complexes comme la saisonnalité, le changement climatique, ont des impacts indirects sur les diatomées, via des facteurs physiques et chimiques. Ces facteurs ont des importances qui peuvent être variables selon les habitats étudiés (lac et rivière, en l'occurrence). Dans les sections suivantes je résume les articles traitant de ces sujets et auxquels j'ai participé.

2.3.1. Impact des paramètres physiques sur les communautés de diatomées

La turbulence de l'eau est un paramètre qui a un impact primordial sur la composition taxonomique des communautés de diatomées en rivière. Par conséquent, pour maximiser les capacités à mesurer le niveau de pollution organique et d'eutrophisation au moyen des diatomées, il a donc été nécessaire de choisir un type de faciès –le faciès lotique- pour homogénéiser le type de communautés rencontrées (Kelly et al., 1998). Le type de substrat sur lequel les diatomées benthiques se développent est aussi un paramètre physique qui structure la composition des communautés. De la même manière que le faciès, des types de substrats ont été recommandés pour l'utilisation des diatomées en bioindication : les pierres ou à défaut les macrophytes. Nous avons cependant montré que le choix du substrat entre pierres et macrophytes n'est pas anodin puisqu'il a une influence sur l'évaluation du niveau de pollution (Torrise et al., 2006) : les communautés de diatomées se développant sur des macrophytes présentent certaines espèces typiquement épiphytes qui sont rarement observées sur des pierres. D'autre part, selon les macrophytes prélevées le degré de colonisation par les diatomées est variable, certaines macrophytes n'étant jamais colonisées (probable impact allélopathique des macrophytes sur les diatomées). Nous avons également montré que les communautés de diatomées épiphytes ont un pouvoir de discrimination du niveau pollution plus faible que les communautés épilithiques.

En lac, nous avons montré que les paramètres physiques, en particulier la turbulence de l'eau, jouent également un rôle primordial sur les communautés de diatomées. Dans des grands lacs comme le Léman, les milieux littoraux les plus exposés aux vents ont des communautés de diatomées dominées par des espèces pionnières tout au long de l'année. Celles-ci sont adaptées à la turbulence provoquée par les vagues elles-mêmes induites par le vent (Rimet et al., 2015). Dans les petits lacs d'altitude des Alpes du Nord, les vagues sont de beaucoup plus faible amplitude et ne peuvent pas avoir d'impact sur la structure des communautés (fetch beaucoup plus

petit que dans les grands lacs). Dans certains de ces lacs, la turbulence est plus liée au temps de renouvellement : certains lacs ont des temps de renouvellement de quelques jours. Cette moyenne annuelle cache probablement des événements extrêmes. En effet, la plupart de ces lacs sont gelés une majeure partie de l'année, et lorsque la neige fond ou que des événements pluvieux surviennent, on peut facilement imaginer qu'il y a un brassage intense des eaux avec un phénomène d'abrasion par les fines (matières en suspensions) provenant du bassin versant et qui empêche la plupart des espèces de diatomées de survivre (cf. Figure 8 tirée de Rimet et al., 2019). Les seules espèces résistant à ces conditions extrêmes, sont de petites espèces pionnières (*Achnantheidium* spp.). Nous avons montré que ce phénomène est accentué par la typologie du lac et la taille de son bassin versant.

Lake typology	Basin surface			
	Lake volume			
Lake functioning	Renewal time	Short	Intermediate	Long
Local factors impacting biofilms	Littoral habitat heterogeneity	From weak to strong	From weak to strong	From weak to strong
	Turbulence	Strong	Intermediate	Benign
Biological responses	Diversity	Low	Intermediate	High
	Community heterogeneity	Homogeneous along the shoreline	Intermediate	Heterogeneous along the shoreline
	Diatom guilds composition	Pioneers, resisting harsh physical stress	Mucous tubule and motile diatoms resisting mild physical stress and relatively good competitors	Unattached filaments and motile diatoms, good competitors for resources, not adapted physical stress
Impact of littoral habitat heterogeneity on biofilms		Limited impact because of strong generalized hydrological turbulence in the lake (harsh physical stress) only favoring pioneers.	Intermediate situation where mild turbulence favors attached colonial or loosely attached diatoms, able to compete for resources.	Strong impact because, stable lake waters enable littoral heterogeneity to play a major role in shaping heterogeneous communities.

Figure 8 : La turbulence dans les lacs à un impact décisif sur la structure des communautés benthiques en zone littorale. Ici un exemple est donné dans les petits lacs d'altitude des Alpes. Une forte turbulence dans le lac sélectionne des espèces pionnières sur toute la zone littorale, même s'il existe différents types d'habitats littoraux (Rimet et al., 2019).

2.3.2. Impact des paramètres chimiques sur les communautés de diatomées

Les paramètres chimiques ont un impact déterminant sur la composition en espèce des communautés de diatomées. Ils ont été regroupés ci-dessous en trois grands types de paramètres chimiques : les paramètres influencés par la géologie, les paramètres indicateurs de pollution classique (macropolluants : nutriments, matière organique) et enfin les micropolluants (et en particulier les herbicides).

Géologie

Le substrat géologique sur lequel coule une rivière a un impact déterminant sur la composition physico-chimique des eaux. Les rivières coulant sur un substrat cristallin (granite, schiste), auront par exemple, une conductivité et un pH plus faibles que des rivières coulant sur des substrats sédimentaires (calcaires, grès...). Les communautés de diatomées sont fortement impactées par cette composition chimique : lors de plusieurs études nous avons montré que la composition en espèce des communautés de diatomées est intimement liée au substrat géologique. Par exemple, nous avons observé que les communautés de diatomées des petits cours d'eau au Luxembourg (Figure 9a) se répartissaient exactement de la même manière que les couches géologiques du pays (Rimet et al., 2004, schiste au nord, grès au sud). De la même manière, les principales communautés du nord-est de la France se répartissaient, l'une sur les massifs montagneux cristallins (Vosges, Ardennes), et l'autre sur les substrats sédimentaires de plaine (Figure 9b, Rimet, 2009). Ceci a été aussi confirmé à une échelle européenne (Figure 9c) sur des rivières d'altitude (au dessus de 800 m), où la géologie était le facteur qui expliquait le mieux la distribution des communautés de diatomées (Rimet et al., 2007).

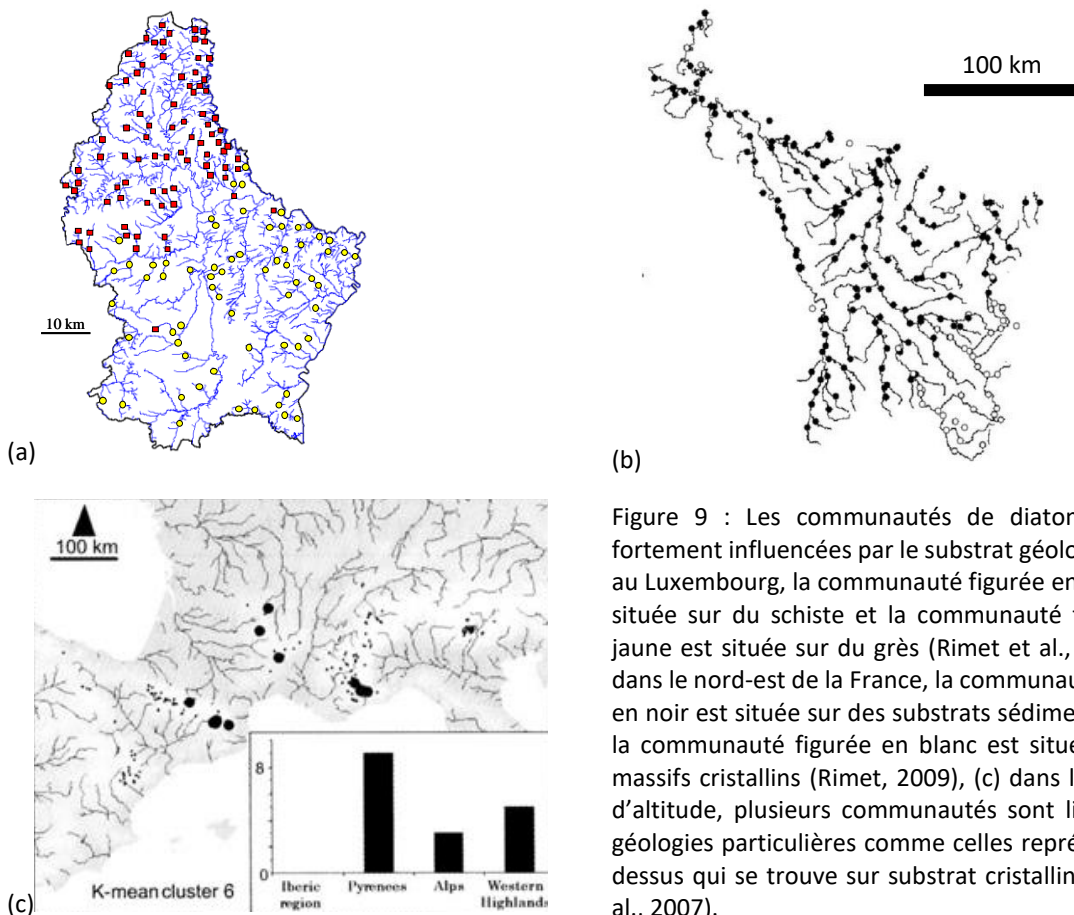


Figure 9 : Les communautés de diatomées sont fortement influencées par le substrat géologique : (a) au Luxembourg, la communauté figurée en rouge est située sur du schiste et la communauté figurée en jaune est située sur du grès (Rimet et al., 2004), (b) dans le nord-est de la France, la communauté figurée en noir est située sur des substrats sédimentaires, et la communauté figurée en blanc est située sur des massifs cristallins (Rimet, 2009), (c) dans les rivières d'altitude, plusieurs communautés sont liées à des géologies particulières comme celles représentée ci-dessus qui se trouve sur substrat cristallin (Rimet et al., 2007).

En lac, sur les aires géographiques que nous avons étudiées (grand lacs, lacs d'altitude des Alpes), la géologie ressortait comme un paramètre structurant peu les communautés de diatomées benthiques littorales. Ceci est en contradiction avec les observations effectuées par d'autres auteurs (Kernan et al., 2009) qui montrent que le Calcium et le pH (dont leurs valeurs sont directement influencées par la géologie) sont des paramètres qui expliquent bien la composition des communautés en lac. Cette différence de résultats peut s'expliquer par l'aire géographique étudiée par Kernan et al. (2009) qui couvre toute l'Europe, avec certains lacs d'altitude dont les bassins versants sont composés d'un seul type de géologie (ex. uniquement granite) ce qui infère des compositions chimiques de l'eau très contrastées. Notre aire d'étude est limitée à une 60^{aine} de petits lacs d'altitude des Alpes en France, la plupart des lacs ont des bassins versants avec des géologies mixtes. Seuls quelques rares lacs présentent des bassins versant aux géologies homogènes et cristallines, et hébergent donc des compositions en espèces typiques d'eaux de faibles conductivités comme *Achnanthydium daonense*, *A. subatomoides*, *Psammothidium chlidanos*, *P. levanderi* (Feret et al., 2017).

Macropolluants

En rivières, les paramètres indicateurs de pollution classique, que sont les macropolluants (nutriments, matière organique, matières en suspension), ont un impact déterminant sur la composition taxonomique des diatomées. Mais, dans chacune des études que j'ai menées en rivières, leurs impacts étaient moins importants que la géologie, ou encore étaient moins important que la turbulence des eaux -elle-même liée à la pente du cours d'eau et la distance à la source- (ex. Rimet et al., 2004, 2007). La définition d'écorégions adaptées aux rivières et à leurs communautés de diatomées est donc capitale afin de mesurer l'état écologique pour des types de rivières homogènes. La définition de ces écorégions, pour laquelle j'ai collaboré, a pris en compte des paramètres tels que la géologie du bassin versant, l'altitude et la taille du cours d'eau (Tison et al., 2004, 2005). Nous avons également montré qu'il est possible de prédire avec certitude les communautés de diatomées des conditions de références si des paramètres tels que l'altitude, la taille du cours d'eau, la composition physico-chimique de l'eau sont renseignés (Gevrey et al., 2004 ; Tison et al., 2007).

Dans les grands lacs (Léman, Bourget), nous avons montré que les nutriments ont un impact sur la composition taxonomique (Rimet et al., 2016a). L'essentiel des nutriments est amené au lac via les cours d'eau et leurs exutoires. Les communautés se trouvant à proximité des exutoires des rivières principales présentent des compositions très particulières. En s'éloignant de l'exutoire, la composition se modifie progressivement : l'eau des rivières se dilue dans le lac et les nutriments sont consommés par les producteurs primaires, un patron spatial de la composition taxonomique est clairement observable. L'utilisation des diatomées benthiques littorales comme indicateur de qualité en lac est plus récente qu'en rivière mais ses résultats sont prometteurs (ex. lacs en Angleterre, King et al., 2006 ; lac Balaton, Stenger-Kovacs et al., 2007 ; Crossetti et al., 2013). Leur utilisation est complémentaire du phytoplancton qui est habituellement utilisé pour évaluer la qualité générale des lacs (Rimet et al., 2015). L'intérêt de l'utilisation des diatomées benthiques littorales réside justement dans l'hétérogénéité des communautés au sein d'un lac qui permettent de localiser des zones impactées. Après avoir montré l'intérêt des diatomées littorales pour l'évaluation écologique en microscopie sur quelques zones restreintes du Léman (Rimet et al., 2016a), nous avons appliqué le métabarcoding ADN à nouveau sur le Léman en juin 2017 afin d'évaluer la qualité écologique sur toute la zone littorale (Figure 10) : les communautés indicatrices des milieux les plus riches en nutriments sont proches des rivières amenant les plus de nutriments dans le lac (Rhône, Venoge, Chamberonne, etc...).

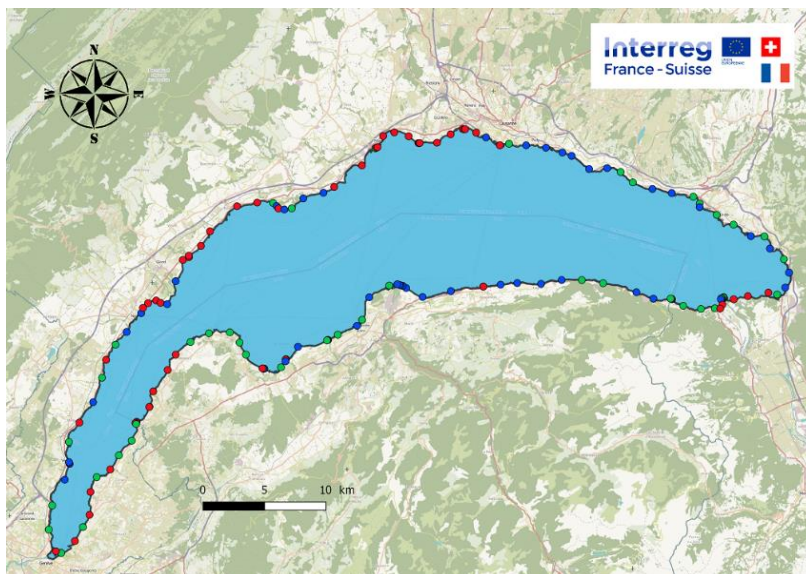


Figure 10 : Carte de la qualité du littoral du Léman (projet Interreg France-Suisse SYNAQUA) établie à partir des communautés de diatomées identifiées en métabarcoding. Les sites « bleus » sont de bonne qualité écologique ; les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces de grande taille adaptées aux milieux pauvres en nutriments. Les sites « verts » sont de qualité écologique intermédiaire ; Les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces mobiles vivant dans des biofilms assez épais. Ce groupe est constitué de sites avec un niveau intermédiaire en nutriments, incluant en particulier des sites proches des embouchures. Les sites « rouges » sont de qualité écologique plus dégradée ; les diatomées qui composent ce groupe sont des espèces de petite taille adaptées aux eaux présentant plus de nutriments. Une majorité de sites sont proches de rivières et de ports. Carte tiré de INRA (2019).

Micropolluants

Plus de 90% des rivières d'Europe sont contaminées par des micropolluants et les pesticides sont parmi les plus détectés aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines (Loos et al., 2009, 2010). Plus précisément, dans l'eau des rivières, parmi les 5 molécules les plus détectées dans les bassins Rhin-Meuse et Rhône-Méditerranée), 4 sont des herbicides (dans l'ordre : atrazine, diuron, isoproturon, simazine) et sont des inhibiteurs du photosystème 2 (Marcel et al., 2013). La demande sociétale pour avoir des outils mesurant l'impact des micropolluants sur les écosystèmes est forte. Avec A. Bouchez, j'ai participé à plusieurs programmes de recherche concernant l'impact des herbicides sur les diatomées. Nous avons réalisé des études qui couvraient des échelles de complexité écologiques variées : des bio-essais en cultures monospécifiques, des expérimentations en microcosme et en mésocosmes et enfin des analyses réalisées sur des jeux de données en milieu naturel. Au final ces études permettent de dégager des tendances claires de l'impact des herbicides sur diatomées et leurs communautés benthiques. Je les synthétise ci-dessous.

Bio-essais en cultures monospécifiques : L'impact d'herbicides largement détectés dans les milieux aquatiques (Diuron, Isoproturon, Atrazine, Trebutryne) a été testé pendant la thèse de F. Larras sur plusieurs espèces de diatomées en cultures (Larras et al., 2014). Elle a observé que la sensibilité des espèces aux herbicides a un lien avec leur phylogénie (cf. également § 2.4.2) : des espèces proches phylogénétiquement présentent des CE50 (Concentration Efficace médiane) similaires. Plus précisément, les taxons centriques (*Cyclotella*) et araphidés (*Fragilaria*, *Ulnaria*) présentent une plus grande sensibilité que les espèces raphidées (*Achnanthydium*, *Encyonema*, *Fistulifera*, *Gomphonema* ...). Ces différences peuvent s'expliquer par des capacités mixotrophiques différentes (plus de détails sont donnés en § 2.4.2.).

Tests en microcosmes : Toujours durant sa thèse, F. Larras a exposé des communautés naturelles à un mélange des quatre herbicides cités ci-dessus à des concentrations environnementales (quelques 10aines de nMol). Ces expérimentations ont été menées en microcosme (15 aquariums de 15 x 15 x 15 cm) pendant 3 semaines. Elle a observé que les communautés présentant le plus de diatomées motiles (*Navicula*, *Nitzschia*) et vivant dans des biofilms épais étaient plus résistantes que les communautés présentant beaucoup de diatomées de petite taille, adnées (*Achnanthydium* spp.) et vivant dans des biofilms fins.

Tests en mésocosmes : Des expérimentations intégrant plus de complexité environnementale ont été menées en mésocosmes lotiques pendant la thèse de A. Villeneuve (Villeneuve, 2008). Il s'agissait de quatre rivières artificielles extérieures en inox (4 x 0.4 x 0.35 m) en circuit semi-ouverts avec des réservoirs amont et aval (0.6 et 1.5 m³ respectivement), qui étaient soumises à des herbicides (Diuron) et des fongicides (Azoxystrobin, Tebuconazole) à des concentrations environnementales (entre 0.03 et 12.9 µg.l⁻¹). Quatre expérimentations ont été menées entre 2006 et 2008 pendant un à un mois et demi. Nous avons aussi observé que les diatomées motiles étaient favorisées (également les espèces vivant en tubes muqueux), et que les espèces présentant des profils élevés (grand rapport surface/volume) voyaient leur abondance diminuer (Rimet and Bouchez, 2011).

Milieu naturel : Enfin, nous avons exploré l'impact des herbicides dans les rivières de l'est de la France en utilisant les jeux de données du réseau de contrôle de surveillance des rivières (Marcel et al., 2013). Les concentrations des herbicides sont corrélées avec celles des nutriments et avec la taille des cours d'eau, ce qui rend impossible de décorrélérer l'impact des herbicides, des nutriments et de la typologie des cours d'eau sur les communautés de diatomées. Par contre, en se plaçant dans une typologie de rivière (rang Strahler < 3, écorégion « plaine calcaire »), avec une faible concentration en nutriments (concentrations inférieures à 10 mg NO₃⁻.l⁻¹ et 0.5 mg PO₄³⁻.l⁻¹), on parvient à isoler l'impact des herbicides des autres facteurs : la guilda des diatomées motiles est à nouveau favorisée au détriment des autres lorsque la contamination en Atrazine (l'herbicide le plus souvent détecté) augmente.

On observe bien, quelque soit la complexité expérimentale abordée, le même type de réponse des communautés de diatomées aux herbicides inhibiteurs du photosystème 2 : les espèces motiles (raphidées), qui ont globalement aussi des capacités mixotrophique plus importantes (Van Dam et al., 1994), résistent mieux que les espèces présentant des profils élevés (principalement araphidées). Ces résultats sont clairement observables en conditions contrôlées. Cependant, lorsqu'on aborde le milieu naturel dans toute la multiplicité des facteurs qui co-occurrent, l'impact des herbicides sur les diatomées n'est observable que dans des conditions environnementales bien particulières (un type de rivière, un niveau de nutriment particulier). L'utilisation des diatomées comme outil pour évaluer l'impact des herbicides semble difficile à mettre en œuvre, contrairement à leur utilisation pour évaluer l'impact des nutriments qui est beaucoup plus évidente.

2.4. Outils pour l'évaluation environnementale

Traditionnellement, les outils d'évaluation de la qualité des milieux basés sur les diatomées sont construits en s'appuyant sur l'autécologie des espèces : la sensibilité spécifique et la sténoécie de chaque espèce sont estimées par rapport à un gradient de pollution générale. Puis un indice biotique est calculé à partir de ces deux valeurs et pondérées par l'abondance des espèces présentes dans le milieu (cf. formule de Zelinka and Marvan, 1961). Mais, cette approche présente plusieurs types de problèmes qui ont été bien identifiés notamment dans la revue bibliographique de K. Tapolczai rédigée pendant sa thèse (Tapolczai et al., 2016).

Le premier type de problème est d'ordre taxonomique. Il y a une difficulté à pouvoir correctement identifier en routine une grande diversité d'espèces de diatomées présentes dans les milieux d'eau douce. Les changements taxonomiques incessants rendent d'autant plus compliquée ces déterminations. Les listes floristiques sont par conséquent souvent difficilement comparables entre opérateurs (il y a souvent une hétérogénéité des compétences ou une hétérogénéité des référentiels taxonomiques entre opérateurs) ou d'une année à l'autre.

Le deuxième problème est d'ordre statistique. Les valeurs de sensibilité et de sténoécie, à la base du calcul des indices biotiques, font l'hypothèse d'une distribution Gaussienne de l'abondance de l'espèce le long du gradient de pollution. Cette hypothèse est souvent fautive et l'utilisation de modèles plus adaptés peut donner des résultats d'évaluation assez différents (Potapova et al., 2004). Un autre problème d'ordre statistique, est l'insensibilité des indices aux espèces rares, qui ont par ailleurs des profils écologiques assez peu robustes ou mal définis, et qui sont donc négligées dans les indices (Besse-Lototskaya et al., 2011).

Le troisième problème est d'ordre écologique. Dans les indices diatomiques actuellement utilisés, le même poids dans le calcul de l'indice est donné à une espèce de petite taille qu'à une espèce de grande taille, alors qu'en terme fonctionnels ces deux espèces n'ont pas la même importance en termes de rôles écologiques : les biovolumes des diatomées varient de quelques μm^3 à plus de $2.10^6 \mu\text{m}^3$. Un autre problème toujours d'ordre écologique : si on considère les facteurs sélectifs dans un environnement et les stratégies d'adaptation possibles des diatomées, on constate une forte redondance au niveau des espèces (Kelly, 2013), ce qui est intéressant à prendre en compte par exemple pour la simplification des outils de bioindication.

Pour contourner ces problèmes, nous avons mis en œuvre différentes solutions qui sont évoquées dans les sections ci-dessous. Nous avons recherché quelle résolution taxonomique était la plus adaptée à la bioindication (§ 2.4.1), puis nous avons cherché les liens entre phylogénie et écologie (§ 2.4.2), nous avons développé une approche basée sur des principes de l'écologie fonctionnelle (§ 2.4.3). Enfin, nous avons utilisé une méthode non basée sur le principe des indices biotiques, mais sur les principes de la phytosociologie (§ 2.4.4).

2.4.1. Quelle résolution taxonomique pour la bioindication ?

Dans une revue bibliographique que j'ai publiée sur la pollution et les diatomées (Rimet, 2012), j'avais identifié plusieurs problèmes touchant la majorité des études sur ce sujet. L'un d'eux concernait l'utilisation intensive du mot « espèce » dans les publications (3^{ème} mot le plus utilisé) : cette utilisation est naturelle puisque les outils de bioindication sont classiquement des indices biotiques basés sur l'autécologie des espèces et donc une large majorité des études sont basées sur des inventaires d'espèces. Malgré l'usage intensif de ce mot, le mot « taxonomie » est rarement utilisé. Quasiment aucune étude ne se posait d'ailleurs la question sur la notion de définition des contours d'espèce, ni sur la façon dont sont définies les espèces, ni n'intégrait la notion de phylogénie et encore moins d'écologie évolutive. Les auteurs n'avaient pas eu de regard critique sur cette base élémentaire qu'est l'espèce et l'impact que cela peut avoir sur les études écologiques que l'on fait avec des diatomées. Dans son article centré sur les diatomées « Taxonomy and ecology: further considerations » (Kociolek, 2005) remarque d'ailleurs que "les études écologiques utilisent la taxonomie comme un moyen

d'arriver à une fin" mais il ajoute que "la taxonomie (des diatomées) semble dresser des obstacles difficiles pour les écologistes en raison de ses modifications incessantes"...

La question de la résolution taxonomique est pourtant d'une importance capitale sur les propriétés des outils de bioindication : elle aura un impact direct sur la robustesse de la méthode, sa précision indicatrice, sa stabilité. C'est une question qui a été abordée pour les macroinvertébrés (Cranston, 1990). Certains auteurs critiquaient le choix du niveau taxonomique utilisé en biomonitoring qui avait été fait plus par tradition que par fondement scientifique (Carter and Resh, 2001) ; la résolution à l'espèce étant considéré comme le choix idéal, sans considération de ses avantages/désavantages (coûts, erreur d'identifications, cf. Jones, 2008). Le même type de commentaire peut être fait pour la bioindication avec les diatomées : les outils sont basés traditionnellement sur l'écologie des espèces et leur identification en microscopie. Pourtant, identifier des diatomées peut avoir de nombreux désavantages pour la bioindication comme évoqué par Kahlert et al. (2009) : évolution permanente de la taxonomie, difficultés d'identification, erreurs d'identification, autant de raisons rendant les comparaisons de listes floristiques difficiles entre praticiens et d'une année à l'autre.

C'est pour cette raison que j'ai voulu tester l'impact de la résolution taxonomique sur le développement d'indices diatomiques, aussi bien en microscopie qu'en métabarcoding. La question de la résolution taxonomique se pose d'autant plus en métabarcoding. L'historique de la définition du contour d'espèces est plus jeune en moléculaire qu'en morphologie et donc plus labile. En effet, dans le processus de certains pipelines bioinformatiques permettant d'analyser les données issues du séquençage massif, des Unité Taxonomique Opérationnelle⁶ ou OTU sont calculées. Pour calculer des OTU, une méthode de regroupement (ex. méthode du plus proche voisin, méthode du voisin le plus éloigné etc ...) et un seuil de similarité entre séquences doivent être fixé arbitrairement. Si ce seuil de similarité entre séquence est élevé alors les OTU regrouperont peu d'organismes et pourront correspondre à un niveau spécifique voire infra-spécifique. Si au contraire celui-ci est faible, les OTU regrouperont une grande diversité d'organismes et pourront correspondre à un ensemble de genre voire d'ordres. La définition de ce seuil de similarité peut être considérée comme une résolution taxonomique.

Deux études ont été menées, l'une avec des données microscopiques des réseaux de contrôle de surveillance des rivières de l'est de la France (Rimet and Bouchez, 2012a), l'autre avec des données de métabarcoding des réseaux de surveillance des rivières de Mayotte (Tapolczai et al., 2019). Dans les deux cas, lorsqu'on augmente la précision taxonomique –de la subdivision à l'espèce pour les données microscopiques, et d'un seuil de 80 à 99% de similarité entre séquences pour les données de métabarcoding– il y a une augmentation exponentielle du nombre de taxons (Figure 11).

⁶ OTU : organismes regroupés sur la base de la similarité d'une séquence d'ADN, qui sert de marqueur taxonomique. Les OTUs sont l'unité de mesure la plus communément utilisée pour quantifier la biodiversité microbienne. Ce terme a été introduit par (Sokal and Sneath, 1963).

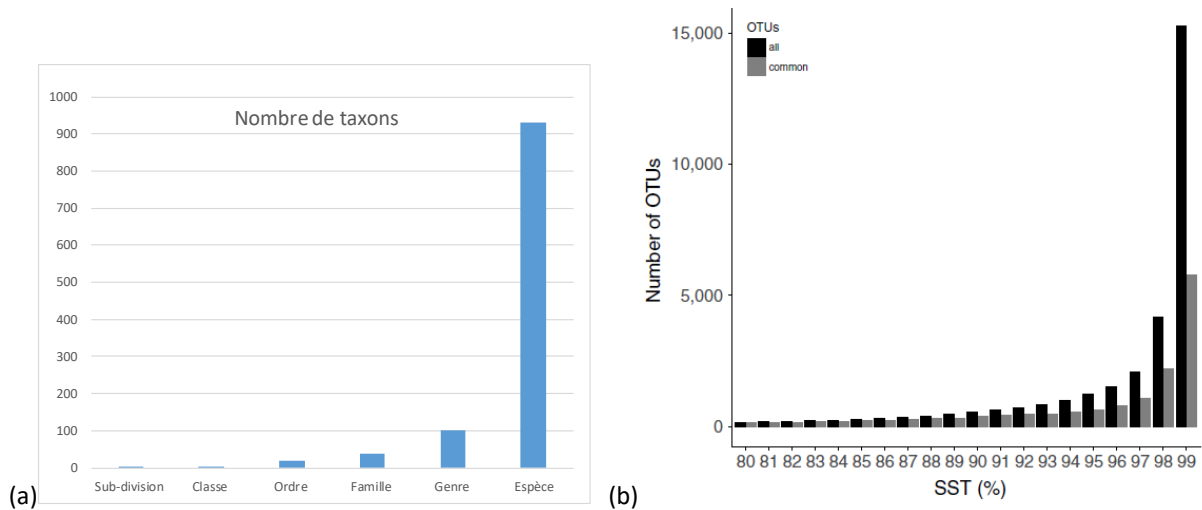


Figure 11 : a) Nombre de taxons déterminés en microscopie en fonction de la résolution taxonomique (Rimet and Bouchez, 2012a) et b) nombre d'Unité Taxonomique Opérationnelle (OTU) définies en fonction du seuil de similarité entre séquence (Tapolczai et al., 2019).

Pour ces deux jeux de données, des indices de qualité ont été développés sur la base de la formule de Zelinka and Marvan (1961) pour mesurer un gradient de pollution général. Ce gradient de pollution général a été défini sur la base d'analyses multivariées prenant en compte les indicateurs de pollution classique (nutriments, matière organique, minéralisation...). Les capacités indicatrices de ces indices ont été mesurées dans les deux cas. Nous avons observé que les capacités indicatrices des indices augmentent avec la précision taxonomique dans les deux cas (microscopie et métabarcoding), mais elle ne suit pas l'augmentation exponentielle du nombre de taxons (Figure 12). Elle atteint même un plateau dans le cas du métabarcoding à partir d'un seuil de 90%, et aussi dans le cas de la microscopie à partir de l'ordre pour l'évaluation des nutriments.

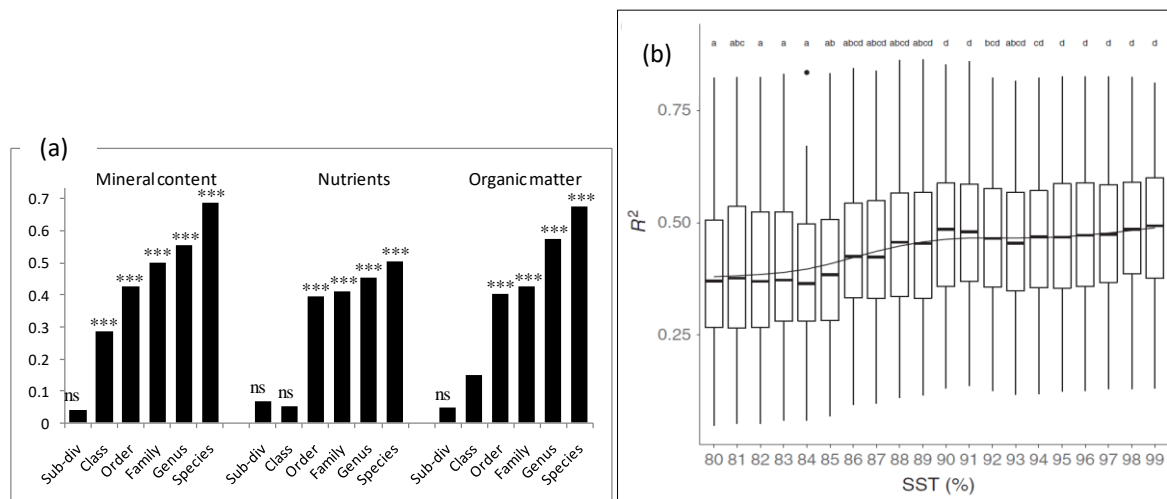


Figure 12 : Corrélations entre les indices et les paramètres à évaluer (a) pour la microscopie (paramètres de minéralisation, de nutriments et de matière organique) et (b) pour le métabarcoding (pollution générale incluant matière organique principalement et dans une moindre mesure les nutriments) en fonction des différentes résolutions taxonomiques. Les corrélations pour (a) et (b) sont faites sur des jeux de données tests (non utilisés pour le développement des indices). SST : seuil de similarité entre séquences.

D'autre part, pour les indices développés sur le jeu de données en métabarcoding, nous avons montré que plus la résolution taxonomique est fine, meilleure était la discrimination de l'indice entre les sites pollués et les sites de bonne qualité (Figure 13) : lorsqu'un indice est basé sur une taxonomie fine, l'indice pourra différencier des petites différences de niveau de pollution ce qui n'est pas le cas avec une taxonomie grossière (Tapolczai et al., 2019). Mais, cela se fait au détriment de la stabilité de l'indice (Figure 13). L'explication est statistique : en affinant la résolution taxonomique, le nombre de taxons augmente. Le nombre de taxons rares devient plus abondant et il est alors difficile de définir leurs profils écologiques avec robustesse (à cause du faible nombre de données disponibles pour le calcul de leurs profils écologiques). L'indice se basant sur ces profils est alors moins robuste et moins stable. Cette explication est valable aussi pour l'approche microscopique et cela a d'ailleurs été observé pour les macroinvertébrés (Downes et al., 2000).

Une autre explication est liée aux erreurs de séquençage ou aux erreurs d'identification en microscopie : en augmentant la résolution taxonomique en métabarcoding, on augmente la probabilité d'avoir des OTUs uniquement liées à des erreurs de séquençage et donc sans lien avec une réalité écologique. De la même manière en microscopie la probabilité de faire des erreurs d'identification est beaucoup plus forte à un niveau fin comme l'espèce qu'à un niveau plus grossier comme le genre. Ceci a donc un impact sur le pouvoir indicateur des indices diatomiques.

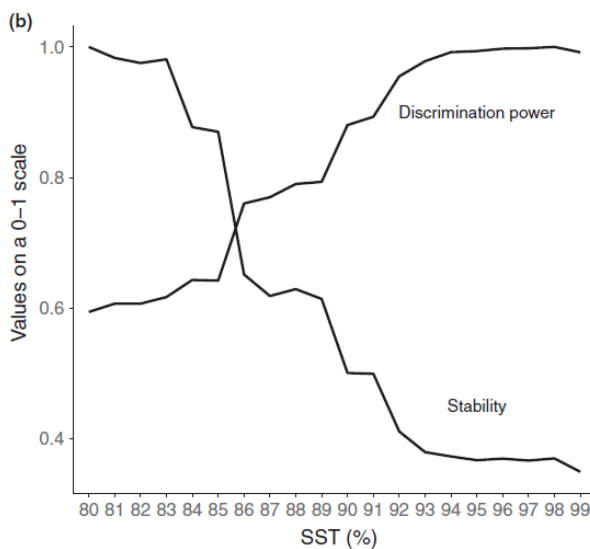


Figure 13 : Evolution du pouvoir discriminant et de la stabilité des indices développés en métabarcoding en fonction de la résolution taxonomique (SST : seuil de similarité entre séquences).

Ces résultats montrent qu'il est donc important de faire un compromis entre résolution taxonomique et pouvoir indicateur de l'indice dans un contexte de développement d'outil d'évaluation de la qualité des milieux. Nous avons approfondi ce sujet en étudiant le lien entre écologie et phylogénie des diatomées (cf. § 2.4.2).

2.4.2. Liens entre phylogénie des espèces de diatomées et écologie : implication pour le biomonitoring

Depuis Darwin, l'étude de l'adaptation des espèces à leur milieu est basée sur la comparaison de leurs traits⁷. Les traits des espèces découlent de la sélection naturelle. Mais l'adaptation et la sélection naturelle ne suffisent pas seules à expliquer pourquoi les espèces ont sélectionné un ensemble de traits particuliers pour survivre dans leur environnement (cf. par exemple les critiques de Gould et al., 1979⁸). Il est nécessaire de prendre en compte leur héritage phylogénétique : « ...des espèces apparentées ne sont pas seulement le produit de leur environnement actuel, mais ont aussi hérité dans une certaine proportion du phénotype d'un ancêtre commun » (Carvalho et al., 2005). Les espèces ne sont pas des individus indépendants les uns des autres, elles ont des ancêtres communs plus ou moins proches, ce qui est bien évidemment aussi le cas pour les espèces de diatomées que nous étudions. Les traits observés chez différentes espèces peuvent être présent simplement parce qu'ils étaient portés par leur ancêtre commun. C'est pour cela qu'il est donc nécessaire de reconstruire les relations phylogénétiques entre nos espèces d'intérêt (par le biais d'arbres phylogénétiques). Plus les espèces sont proches phylogénétiquement, plus elles auront tendance à porter des traits similaires. On parle alors d'« inertie phylogénétique », qui est causée par trois phénomènes, le « conservatisme phylogénétique de niche⁹ », « le délais phylogénétique¹⁰ » et la « réponse phénotype-dépendant à la sélection¹¹ » (Harvey and Purvis, 1991). Le « signal phylogénétique » est donc défini comme la part de variation des valeurs d'un trait pour des espèces qui est expliquée par leur proximité phylogénétique (Keck, 2016). Des méthodes ont donc été développées pour prendre en compte la non-indépendance phylogénétique des espèces lorsque leurs traits sont comparés et lorsque celles-ci partagent un ancêtre commun (cf. travaux pionniers de Felsenstein, 1985), et plusieurs types de méthodes permettent de calculer l'intensité du signal phylogénétique (cf. comparaison des performances de différentes méthodes dans Münkemüller et al. (2012).

L'intérêt d'étudier la présence d'un signal phylogénétique chez les diatomées pour la bioindication est lié à un besoin de simplification des méthodes. En effet, les diatomées présentent une grande diversité taxonomique, et, comme évoqué précédemment, être capable d'identifier correctement en routine des 100aines d'espèces différentes est un challenge. L'hypothèse générale que nous avons émise est que s'il existe un signal phylogénétique pour des traits utilisés dans la bioindication, alors il est possible de simplifier les outils de bioindication. Au cours des thèses de F. Larras, de F. Keck et des séjours Erasmus de S. Esteves, nous avons montré qu'il existe un signal phylogénétique pour les diatomées pour plusieurs types de traits.

Le premier type trait concerne la résistance aux herbicides (Diuron, Isoproturon, Atrazine, Terbutryne) (Larras et al., 2014) : nous avons observé (Figure 14a) que les diatomées araphidées sont plus sensibles aux herbicides

⁷ Un trait est une caractéristique quantitative ou qualitative mesurable sur un organisme. Par exemple, un trait peut être morphologique, comme la masse corporelle, la taille ou la capacité de mobilité. Un trait peut être aussi une caractéristique écologique (optimums, tolérances par rapport à un niveau en nutriment par exemple) et donc être issu de la description statistique d'une population (adapté de Keck, 2016).

⁸ Gould critique certaines positions défendues par Charles Darwin, par exemple l'adaptationnisme (position selon laquelle tout caractère présent chez un organisme résulte d'un processus d'adaptation, adaptation de l'organisme lui-même ou héritage d'une adaptation acquise par ses ancêtres) ou l'uniformitarisme selon lequel 1) l'évolution ne procède que lentement et par d'infimes modifications à chaque génération et 2) les phénomènes brutaux, réellement rapides et catastrophiques, n'ont pas affecté l'évolution biologique (adapté de <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/bib-Gould-structure-evolution.xml>).

⁹ Si une espèce se déplace dans une nouvelle niche, cette niche doit être similaire à la niche occupée précédemment.

¹⁰ Les organismes n'évoluent pas instantanément, il leur faut un certain temps pour s'adapter.

¹¹ Des organismes avec un phénotype similaire répondent de la même façon à la pression sélective (ex : production de système d'attachement chez les diatomées benthiques en milieu turbulent).

que les raphidées. Ceci peut être relié aux capacités mixotrophes et également aux niches écologiques qui varient beaucoup d'une espèce à l'autre. En effet les espèces mixotrophes sont généralement moins sensibles aux herbicides que les espèces autotrophes (ou ayant moins de capacités mixotrophes) : les espèces mixotrophes sont capables de passer du mode de nutrition autotrophe à hétérotrophe si un herbicide est présent (ex. Roubeix et al., 2011 ; Peres et al., 1996) et donc de résister à la présence de l'herbicide. Les espèces raphidées sont des espèces mobiles, souvent présentes en milieu benthique dans des biofilms épais où la probabilité de présence de matière organique est élevée. J'émet l'hypothèse que ces espèces ont sélectionné des traits écophysiologiques permettant de profiter de cette source d'énergie et donc ont de bonnes capacités hétérotrophiques. Les espèces araphidées, sont immobiles et souvent attachées à des supports durs (pierres, tiges de végétaux), ou encore sont présentes dans le plancton. Elles ne sont pas présentes dans des biofilms épais (ou alors de manière fortuite), je suppose qu'elles ont sélectionné des traits permettant de maximiser leurs capacités photosynthétiques/autotrophiques (absorption de nutriments dissous dans l'eau et de lumière). Nous avons également montré que la variabilité intraspécifique de la sensibilité aux herbicides était plus faible que la variabilité interspécifique pour deux espèces *Achnanthydium minutissimum* et *Nitzschia palea* (Esteves et al., 2017). Nous avons également montré que même si la variabilité intraspécifique est plus faible que la variabilité interspécifique, elle n'est pas nulle et certaines espèces peuvent avoir un signal phylogénétique de la sensibilité aux herbicides et d'autre pas (Figure 14b). Notre explication réside dans la plus ou moins bonne délimitation des espèces. *Achnanthydium minutissimum* présente un signal phylogénétique intraspécifique, mais il a été montré que ce taxon est composé de plusieurs espèces (Ector, 2011 ; Wojtal et al., 2011) qui ont des écologies variées (Potapova and Hamilton, 2007), et qui explique probablement pourquoi nous observons un signal phylogénétique. Par contre, dans le cas de *Nitzschia palea*, il s'agit d'une seule espèce (Rimet et al., 2014) et les différences observées entre clones sont probablement plus le résultat d'adaptations individuelles et d'une plasticité phénotypique que de la transmission d'une adaptation progressive.

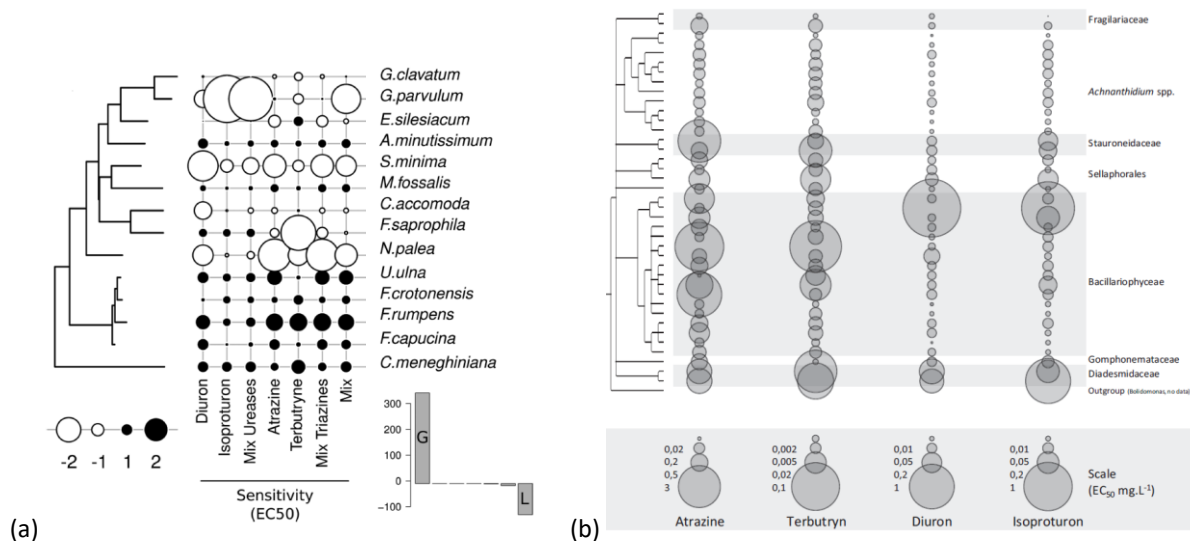


Figure 14 : Signal phylogénétique de la sensibilité aux herbicides pour les diatomées. (a) Signal phylogénétique pour la résistance aux herbicides à un niveau interspécifique (Larras et al., 2014) : les valeurs centrées-réduites des CE50 de cultures de diatomées sont indiquées par des tailles et couleurs de ronds (noir CE50 faible, blanc CE50 élevée) et replacées dans leur phylogénie (cultures séquencées pour le 18s et le rbcL). (b) Signal phylogénétique pour la résistance aux herbicides à un niveau intraspécifique (Esteves et al., 2017).

Le deuxième type de trait concerne la sensibilité générale à la pollution. Ce type de trait est généralement utilisé dans les indices biotiques. Après avoir calculé les préférences écologiques pour un ensemble de paramètres physico-chimiques, F. Keck a montré que pour certains d'entre eux, les diatomées présentaient un

signal phylogénétique (Keck et al., 2016b). C'est le cas pour la préférence à la matière organique (DBO, COD, MOD), la minéralisation (ions majeurs, conductivité) et l'eutrophisation (PO_4^{3-} , NO_3^-) (Figure 15a). Tous ces paramètres sont connus comme ayant une influence sur les communautés de diatomées. Forts de ces résultats, et pour avancer sur la piste de la simplification des outils de bioindication basés sur les diatomées, F. Keck a développé une méthode pour extraire des groupes d'espèces partageant des préférences écologiques similaires et étant phylogénétiquement liées (Keck et al., 2016a). Cette méthode a été appliquée à un indice largement utilisé en Europe (indice IPS, Cemagref, 1982). Sur la base de cet indice préexistant, plusieurs indices simplifiés ont été proposés : certains regroupent les taxons dans de grands groupes phylogénétiques et donc réduisent plus l'effort d'identification mais ont une capacité plus faible à évaluer correctement le niveau de pollution, et d'autres au contraire regroupent moins de taxons entre eux, conservent plus les différences d'écologies des groupes d'espèce et donc ont de meilleures capacités à évaluer finement le niveau de pollution. Le gestionnaire a donc à faire un compromis (cf. groupes proposés par Keck et al., 2016a ; en Figure 15b) entre la précision d'évaluation et l'effort d'identification, c'est-à-dire le coût de l'analyse.

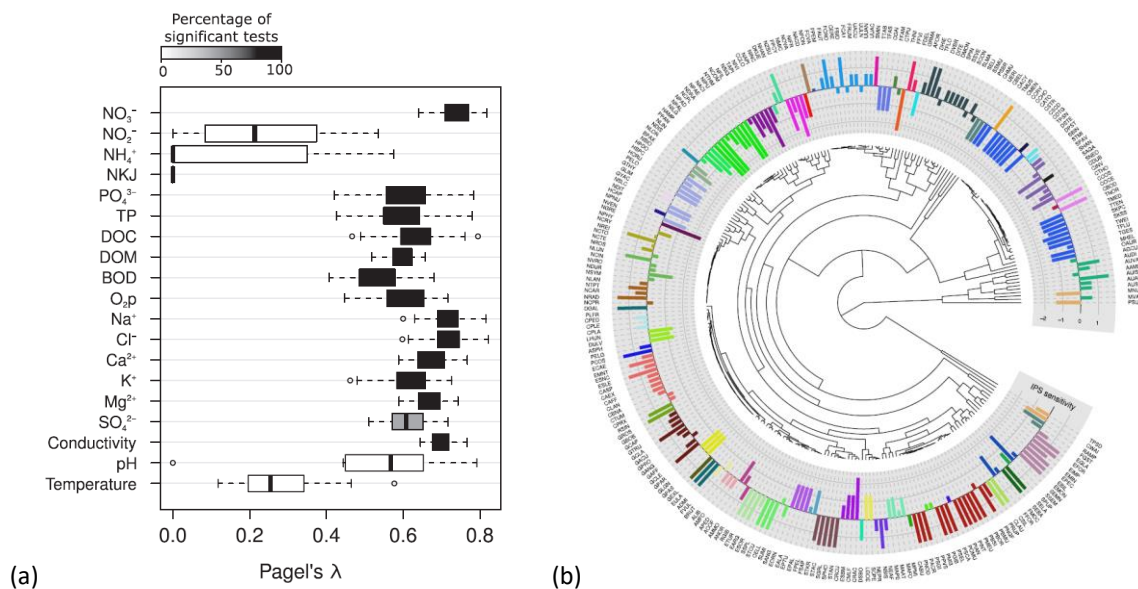


Figure 15 : Signal phylogénétique pour la sensibilité générale à la pollution. (a) Test de la présence d'un signal phylogénétique pour les préférences des espèces par rapport à différents paramètres physico-chimiques, les box-plots noir indiquent un signal significatif (Keck et al., 2016b). (b) Arbre phylogénétique de 262 espèces de diatomées et leurs valeurs de sensibilité à la pollution (valeurs d'IPS) ; les couleurs correspondent à des groupes d'espèces ayant des sensibilités à la pollution proches et étant voisines phylogénétiquement (Keck et al., 2016a).

Un autre intérêt de l'étude du signal phylogénétique en bioindication est la capacité de prédiction d'un trait d'une nouvelle espèce en fonction des traits présents chez ses voisines phylogénétiques. Cette propriété a par exemple été utilisée pour la résistance à des métaux chez les macroinvertébrés (ex. Buchwalter et al., 2008) ou chez les amphibiens (Chiari et al., 2015), ce qui a conduit à développer des modèles de prédiction de sensibilité des espèces (Guenard et al., 2011). F. Keck a développé un outil adapté au métabarcoding sur ce principe pour la sensibilité à la pollution des diatomées. En effet, lorsque les diatomées d'un échantillon sont identifiées en métabarcoding, une part des séquences environnementales peut être identifiée à l'espèce. Ces espèces (si elles ont une sensibilité à la pollution définie dans l'indice diatomique) vont donc rentrer dans le calcul. Mais la part des séquences environnementales non identifiées à l'espèce ne peut pas rentrer le calcul de l'indice. Par contre, elles peuvent être insérées dans une phylogénie de référence. Leur sensibilité écologique peut alors être prédite

si la sensibilité écologique des espèces phylogénétiquement voisines est connue. Ces séquences environnementales à qui une polluosensibilité a été prédite, peuvent in fine être intégrées dans le calcul de l'indice de l'échantillon. L'évaluation écologique gagne en robustesse et sensibilité. C'est ce qui a été testé avec succès sur un ensemble de plus de 139 échantillons de France métropolitaine échantillonnés en 2016 (Keck et al., 2018).

2.4.3. L'écologie fonctionnelle : apports pour la bioindication diatomées

Les contours d'espèces chez les diatomées sont habituellement basés sur la morphologie du frustule (densité de stries, longueur, forme générale...) mais aussi sur base moléculaire (§ 2.2.1). En se basant sur ces critères, le nombre d'espèces existant sur terre est estimé à plusieurs 10aines voire 100aines de milliers (entre 30 000 et 100 000 taxons selon Mann and Vanormelingen, 2013). Mais de nombreuses espèces présentent des redondances en termes de stratégies d'adaptations écologiques. En effet, le nombre de stratégies adaptatives mises en place chez les diatomées n'est pas infini et les mêmes traits et adaptations fonctionnelles peuvent être présents dans des groupes phylogénétiquement séparés (ex. Figure 16). Les traits sont la réponse de l'adaptation des diatomées à leur milieu. Il semble donc naturel de les utiliser pour comprendre la présence d'une espèce dans un milieu particulier. L'utilisation des traits en écologie et en évaluation environnementale sont assez communes pour les macroinvertébrés (ex. Usseglio-Polatera et al., 2000, 2001) ou pour le phytoplancton (Reynolds et al., 2002, Padisak et al., 2009) et ont débouché au développement d'indices basés (ex. pour le phytoplancton avec l'indice trait de Padisak et al., 2006 et pour les macroinvertébrés avec l'indice de Mondy et al., 2012). Par contre leur utilisation est nettement moins commune pour la bioindication diatomées, où les indices biotiques sont développés traditionnellement sur l'autécologie des espèces (par rapport à un gradient de pollution générale).

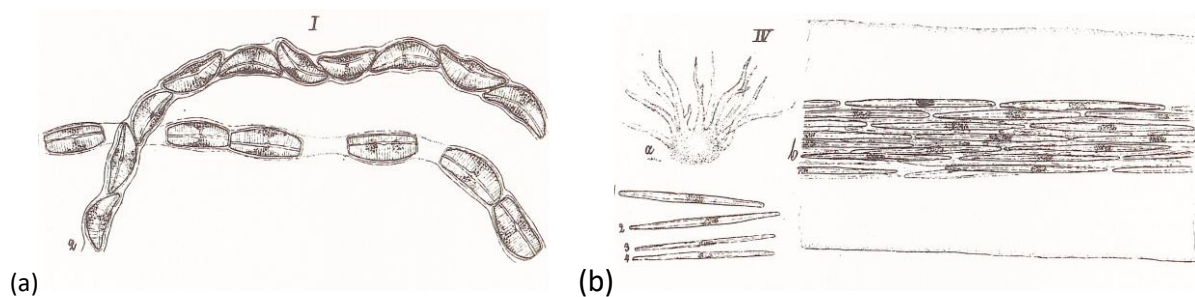


Figure 16 : Exemple d'une forme de vie (le tube muqueux) présente chez deux groupes taxonomiquement éloignés, (a) *Encyonema paradoxum*, (b) *Berkeleya adriatica*, dessins tirés de Kützing (1844).

Un autre type de métrique d'intérêt pour la bioindication est l'utilisation de guildes écologiques, ou encore groupes fonctionnels (ces deux termes sont presque synonymes comme indiqué dans la revue bibliographique de Tapolczai et al. (2016)). Une guilda rassemble des espèces qui vont exploiter les ressources de la même manière, même si les espèces d'une même guilda peuvent avoir des stratégies adaptatives différentes pour exploiter cette ressource.

Nous avons montré que certaines métriques (traits morphologiques, fonctionnels, écologiques, guildes écologiques), permettent d'évaluer la pollution (nutriments et matières organiques) aussi bien que des indices biotiques (Berthon et al., 2011). L'intérêt d'utiliser ces métriques est de plusieurs ordres :

- Outil plus robuste : Le nombre de métriques (traits, guildes) est limité à quelques dizaines. Les relations qui sont établies entre les gradients écologiques (ex. niveau de pollution) et les différentes métriques sont basées sur un nombre de données important, et donc sont robustes. A contrario, lorsqu'on est confronté à des 100^{aines} d'espèces, le calcul de leurs profils écologiques est plus fragile. Une grande majorité d'espèces sont rares, et il est difficile d'établir un profil écologique avec robustesse. Elles ne sont donc pas prises en compte dans le calcul des indices biotiques.
- Mise en œuvre plus simple : L'identification de 100aines d'espèces est difficile, et il y a un risque de mauvaise identification qui est important pour des espèces proches. Lorsqu'on utilise des traits ou des guildes, des espèces morphologiquement proches auront les mêmes traits, et donc des erreurs d'identification n'impacteront pas les résultats de l'évaluation environnementale si celle-ci est basée sur les traits. Ce point est particulièrement important pour les départements d'Outre Mer, où la présence d'espèces tropicales complique l'identification et les opérateurs réalisant les identifications peuvent utiliser des flores non adaptées à la zone biogéographique. Ceci est une source d'erreurs ou d'incertitudes pour les identifications spécifiques.
- Vision fonctionnelle : L'utilisation des traits et guildes apporte des explications fonctionnelles, facile à communiquer aux gestionnaires. Par exemple, il est plus facile d'expliquer qu'une turbulence importante du milieu va sélectionner les espèces de petites tailles ayant de bonnes capacités d'accroches au substrat, que favoriser une ribambelle d'espèces comme *Achnantheidium linearis*, *A. pyrenaricum*, *A. minutissimum* ...etc

Assez rapidement, lors d'étude écologiques (cf. § 2.3), j'ai utilisé ces approches basées sur les traits (ex. Rimet et al., 2009). J'ai donc proposé une check-list d'un millier d'espèces fréquentes dans les milieux d'eau douce d'Europe avec différentes métriques, comme leurs formes de vie, leurs guildes écologiques (modifiées de Passy, 2007) et leurs classes de tailles (Rimet and Bouchez, 2012b). Cette liste est bien utilisée dans le domaine de l'écologie de diatomées (environ 140 citations en 2020).

Dans le cadre d'un programme financé par l'ONEMA (maintenant OFB) ayant pour objectif de développer les indicateurs écologiques pour le département d'outre mer de Mayotte, nous avons développé un indice basé sur les traits des diatomées (thèse de K. Tapolczai et publication Tapolczai et al., 2017) ; nous l'avons comparé à un indice biotique classique à l'espèce (Figure 17). En plus de sa robustesse et son insensibilité à des erreurs d'identifications mineures (niveau espèce et infra-spécifique), l'indice trait a démontré de meilleures capacités à discriminer les niveaux de pollutions extrêmes et les conditions de référence. Il est actuellement utilisé sur le réseau de contrôle de surveillance de Mayotte, au côté de l'indice biotique classique (basé sur l'écologie des espèces). De part, sa généralité, il a été envisagé de l'utiliser comme métrique d'intercalibration entre tous les départements d'Outre-Mer (comm. pers. Olivier Monnier 2019, OFB).

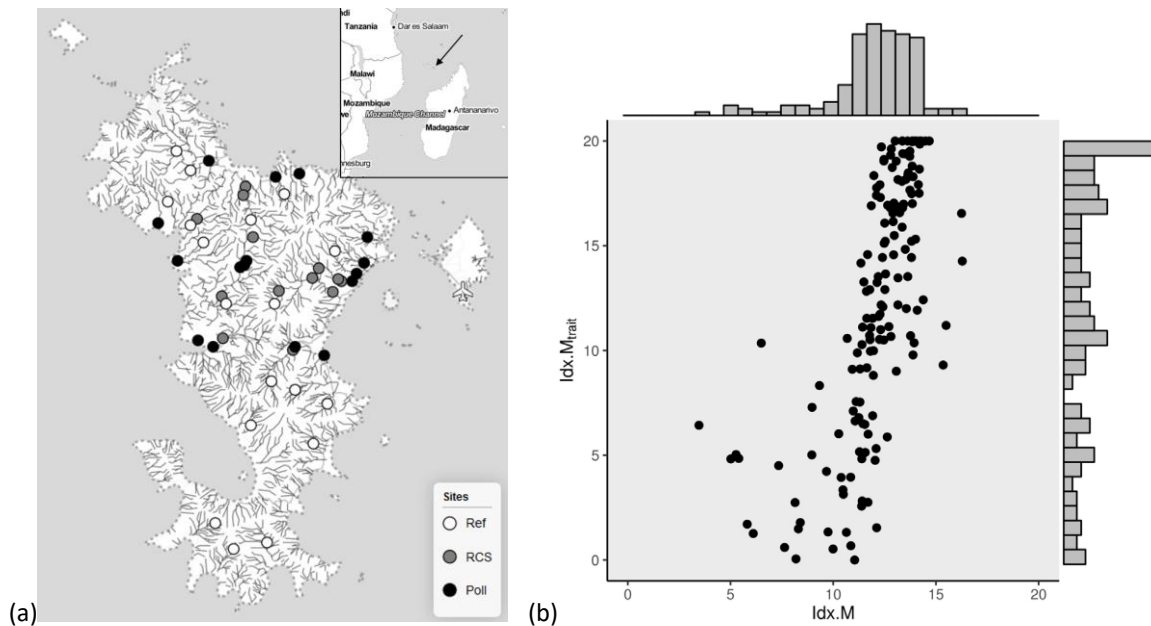


Figure 17 : Développement d'indices pour les cours d'eau de Mayotte (a) Localisation de l'île de Mayotte et des stations d'échantillonnage (Ref : réseau de référence, RCS : réseau de contrôle de surveillance, Poll : réseau de sites pollués). (b) Comparaison de l'indice trait (Idx.M_{trait}) et de l'indice espèce (Idx.M). Les deux indices sont significativement corrélés ($p < 0.05$, corrélation de Pearson) mais ne présentent pas la même distribution des données le long du gradient de pollution : l'indice trait est mieux distribué le long du gradient et permet donc de mieux discriminer les différents niveaux de pollution.

2.4.4. La phytosociologie : apports pour l'évaluation des lacs

Parfois, le développement d'indices n'est pas la stratégie la plus adaptée à une situation de diagnostic écologique et les principes de la phytosociologie¹² peuvent être mis à profit. Ce sont ces principes relativement simples que nous avons utilisés pour évaluer le littoral des grands lacs (Léman, Aiguebelette, Bourget, et Annecy) en utilisant les diatomées. Après avoir échantillonné les diatomées benthiques sur un ensemble de stations littorales, les espèces de chaque station sont identifiées et leur abondance relative est définie. Puis, des groupes de stations dont les compositions en diatomées sont similaires sont définies, ce qui correspond à la définition de communautés de diatomées. Enfin, la relation de ces communautés avec la description du milieu dans lequel elles vivent est décrite. L'application de cette méthodologie pour l'évaluation environnementale est assez classique chez les végétaux supérieurs (Dengler et al., 2008).

Un premier test avait été fait sur un échantillonnage partiel du littoral du Léman en aout 2010 : les diatomées avaient été prélevées sur 35 stations et avaient été identifiées en microscopie (Rimet et al., 2016a). Trois communautés de diatomées avaient été définies et étaient caractérisées par des niveaux trophiques différents. Elles avaient une répartition logique avec les pressions anthropiques connues (Figure 18a). Un deuxième test a été réalisé sur l'intégralité du littoral du Léman en juin 2017 : 153 stations ont été échantillonnées et les diatomées ont été identifiées en métabarcoding (Illumina MiSeq, gène *rbcl*). Ce nombre important de stations a pu être analysé grâce au métabarcoding qui permet une identification haut-débit des diatomées. Des communautés ont été à nouveau définies (sur la base de leur composition en OTUs). Les trois principales

¹² La phytosociologie est l'étude des associations végétales. En se basant sur des listes floristiques, cette discipline permet de décrire et de classer la végétation d'un milieu de façon abstraite, mais permet de révéler les interactions entre les plantes et leur milieu. Définition modifiée de <https://fr.wikibooks.org/wiki/Phytosociologie>

communautés ont un lien fort avec le niveau trophique (concentration en nutriments). Ces communautés ont été représentées géographiquement (Figure 18b). On ne peut cependant pas faire de comparaisons directes entre les années 2010 et 2017 car il s'agit d'analyses indépendantes. Leur intérêt réside dans la mise en évidence d'une hétérogénéité à l'échelle locale avec un référentiel propre à cette échelle. Elle répond à un besoin de gestionnaires locaux qui veulent des outils d'évaluation adaptés à leur périmètre de gestion. Ces cartes (en particulier celle de 2017) ont été présentées aux gestionnaires du Léman (Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman, Services cantonaux helvétiques, Syndicats d'aménagement français, Communautés de communes françaises). Elles ont été bien accueillies et les gestionnaires demandent à ce que ce type d'évaluation soit réalisé à nouveau dans un pas de temps qui reste à définir (5 à 10 ans par exemple). Des cartes similaires ont été produites pour les lacs du Bourget (prélèvements réalisés en 2015), Aiguebelette (2018) et Annecy (2019).

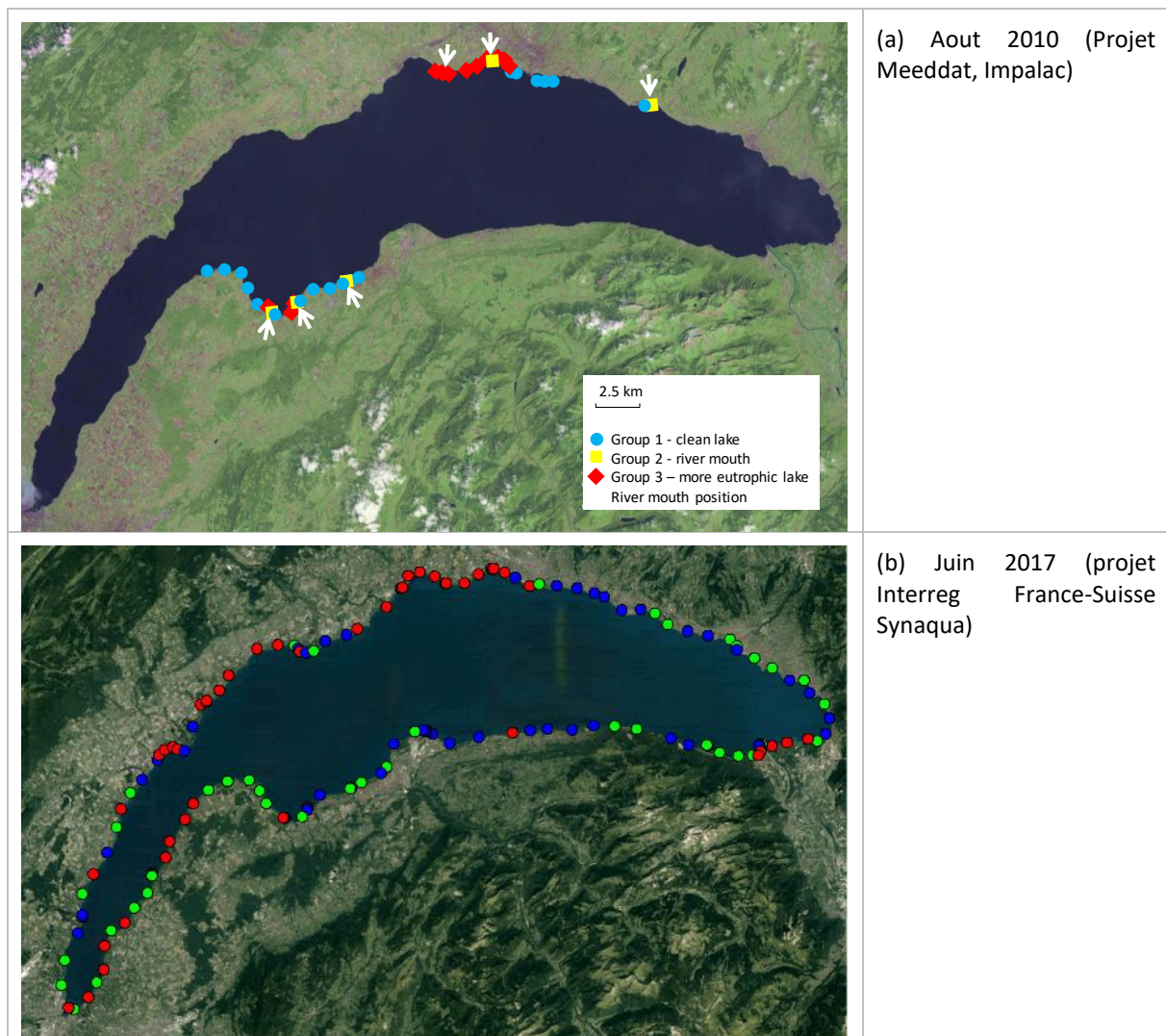


Figure 18 : Carte de qualité des zones littorales du Léman basée sur les communautés de diatomées. (a) Diatomées identifiées en microscopie, (35 sites prélevés en aout 2010). Bleu : zones pauvres en nutriments, Jaune : zone d'exutoires de rivières, Rouge : zones riche en nutriments (b) Diatomées identifiées en métabarcoding (153 sites prélevés en juin 2017). Bleu : zones pauvres en nutriments avec beaucoup de diatomées présentant un rapport surface/volume important (high-profile), Vert : concentrations en nutriments intermédiaires avec beaucoup de diatomées motiles, Rouge : zones plus riches en nutriments avec beaucoup de diatomées de petites tailles, fortement accrochées au substrat (low-profile).

3. Perspectives scientifiques

Mes perspectives scientifiques découlent directement des travaux que j'ai menés depuis plus de 20 ans. Elles se prolongent sous forme de deux axes qui préexistaient déjà auparavant. Ces axes seront probablement plus individualisés dans le futur mais devraient continuer à s'alimenter mutuellement.

Le premier axe continuera à s'inscrire dans l'apport à la connaissance sur la diversité et l'écologie des diatomées. Les données acquises depuis 5 ans en métabarcoding sur les diatomées dans différentes régions du monde et à différentes échelles spatiales seront mises à profit. Ces données devraient permettre d'aborder des questions fondamentales par exemple en écologie spatiale, en phyloécologie, sur l'organisation de la diversité cryptique ou encore l'endémisme dans le règne microbien. De plus, les développements méthodologiques de la thèse de S. Rivera, démarrée en 2018, sur l'utilisation des biofilms comme capteurs d'ADN devraient permettre d'avoir une vision plus holistique du fonctionnement des écosystèmes aquatiques, notamment en analysant les réseaux trophiques benthiques et la place des diatomées en leur sein.

Le deuxième axe sera de continuer à utiliser cette connaissance fondamentale pour aider à la gestion des milieux aquatiques. Cet apport c'est fait jusqu'à présent par le prisme des microalgues principalement (en utilisant les bioindicateurs algaux diatomées benthiques et phytoplancton). Je souhaite dans le futur avoir une approche plus globale et prédictive afin qu'elle puisse avoir un intérêt plus appliqué pour aider à la prise de décisions dans la gestion des milieux au service des populations humaines.

Ces deux axes sont développés dans les § 3.1 et 3.2.

3.1. Le métabarcoding : de nouveaux apports pour la diversité et l'écologie des diatomées ?

Comme nous l'avons déjà évoqué auparavant (cf. § 2.2 et 2.3), la connaissance de la taxonomie, de la diversité, et de l'écologie des diatomées sont des prérequis nécessaires à leur utilisation comme indicateur de l'état de santé des milieux aquatiques. La question est de savoir si l'utilisation de nouveaux outils d'investigation, en particulier le métabarcoding, feront évoluer nos connaissances au sujet des diatomées. Jusqu'à présent, l'argument prétextant l'utilisation du métabarcoding pour l'étude des communautés de diatomées a souvent été d'accéder à un plus haut débit des données à plus faible coût (ex. Kermarrec et al., 2014 ; Vasselon et al., 2017b). Il faut dépasser ces arguments économiques et explorer les nouvelles dimensions que peuvent nous apporter le métabarcoding.

Certains travaux basés sur le métabarcoding laissent déjà entrevoir d'autres intérêts précédemment évoqués (§2.2.2), comme l'accès à une meilleure finesse taxonomique (ex. Rivera et al., 2018 ; Rimet et al., 2018b), ou l'accès à une plus grande régularité dans l'identification des taxons (Vasselon et al., 2019) ce qui peut faire défaut en microscopie (Kahlert et al., 2009). F. Keck a également montré que des séquences environnementales peuvent être replacées dans des arbres phylogénétiques de référence (Keck et al., 2018) : cette propriété ouvre de nouvelles portes pour adresser des questions notamment en écophylogénétique (Keck, 2019 ; Mouquet et al., 2012), un concept permettant d'intégrer les apports de la phylogénie à l'écologie.

Dans sa revue bibliographique sur les études en écologie spatiale des diatomées, Soininen and Teittinen (2019) énumèrent 15 questions. Certaines méritent d'être abordées avec les nouvelles données apportées par le métabarcoding. Je cite directement certaines de ces questions ci-dessous. Je complète ces questions avec d'autres qui me semblent importantes.

- « Les diatomées d'eau douce sont-elles cosmopolites ? » (Soininen and Teittinen, 2019)

Plusieurs auteurs ont été en faveur de l'hypothèse de Baas-Becking (1934) stipulant que « Tout est partout, l'environnement sélectionne », aussi bien pour les diatomées dulçaquicoles (Finlay et al., 2002), que pour les diatomées marines (Cermeño and Falkowski, 2009). Ces auteurs montrent que les diatomées n'ont pas de limites à leur dispersion et la présence d'espèces endémique est très difficile à démontrer. D'autres auteurs se sont opposés à ces résultats, prétextant que le concept d'espèce de ces premiers auteurs était trop grossier. Casteleyn et al. (2010) ont identifié sur base génétique (microsatellites) que des populations génétiquement différentes d'une même espèce planctoniques existaient et étaient isolées géographiquement, prouvant une limite au flux de gène : la dispersion peut être à l'origine d'une spéciation allopatrique. En milieu dulçaquicole, Kociolek et al. (2017) ou encore Van De Vijver and Beyens (1999) ont montré sur base morphologique qu'un fort endémisme existait pour plusieurs genres de diatomées. De même Soininen et al. (2016) montrent avec des données obtenues en microscopie et provenant des réseaux de surveillance des rivières de différents pays (France métropolitaine, Outre-Mer, Finlande, USA) que les espèces ont une capacité de dispersion assez faible ce qui explique des différences de compositions en espèce entre ces pays. Mais ces conclusions doivent être nuancées, lorsque l'on connaît les différences d'identifications pour un même frustule pour des opérateurs provenant de laboratoires différents. D'autres auteurs (Heino et al., 2010 ; Bottin et al., 2014) montrent également que les communautés de diatomées sont contrôlés par des facteurs spatiaux, souvent plus que des facteurs environnementaux (pH, phosphore, conductivité...), et concluent leur étude en rejetant l'hypothèse de Baas-Becking pour les diatomées (Heino et al., 2010). Ceci doit aussi être pondéré car d'une part il est difficile de mesurer tous les paramètres environnementaux contrôlant les communautés de diatomées (ce qui limite la part d'explication par ces paramètres) et d'autre part, les paramètres environnementaux sont structurés spatialement dans les aires géographiques des études en question (Finlande, France), ce qui est un frein pour les analyses statistiques et les conclusions qui en découlent.

L'apport du métabarcoding sera décisif pour répondre à la question du cosmopolitanisme des diatomées. En effet, cette méthode assurera d'une part la comparabilité des données, d'autre part elle permettra d'avoir accès à une précision taxonomique supérieure à la microscopie et permettra d'accéder à un vaste ensemble de données issues de zones biogéographiques variées. La Figure 19 situe ces différentes aires où des échantillons ont été analysés avec la même méthode de métabarcoding en collaboration avec plusieurs équipes (Suède : M. Kahlert, Espagne : R. Trobajo et D. Mann, France : OFB, UK : D. Mann et M. Kelly, Chypre : P. Pissaridou et M. Vasquez, Géorgie : B. Japoshvili). Une estimation pour chaque aire géographique de la part des génotypes présents uniquement dans l'aire considérée et de la part des génotypes partagés avec les autres aires géographiques serait un premier résultat extrêmement intéressant. De plus, il s'agirait d'un projet d'étude fédérateur entre plusieurs équipes de recherche.

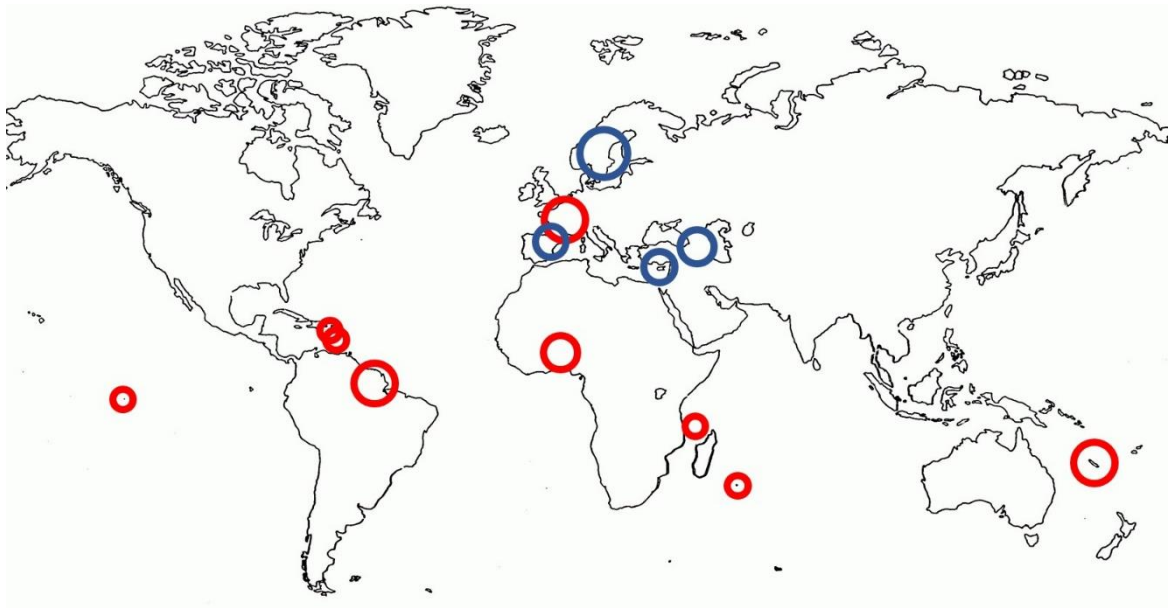


Figure 19 : Localisation des aires d'échantillonnage où des séquençages environnementaux ont été réalisés (en rouge : runs réalisés par A. Bouchez et moi-même, en bleu : runs réalisés en collaboration avec d'autres équipes extérieures).

- **“Y-a-t-il une relation entre l'aire géographique et la richesse en espèce chez les diatomées ? » (Species-Area Relationships) (Soininen and Teittinen, 2019)**

Cette relation, qui décrit le lien entre l'aire d'un habitat et le nombre d'espèce observé dans cette aire, est ancienne (de Candolle, 1806). Elle a un intérêt évident par exemple pour l'estimation de la richesse spécifique, pour mesurer l'effet des perturbations sur les communautés et donc estimer la résilience d'un écosystème (He and Legendre, 1996). Cette question est assez peu abordée pour les diatomées (Soininen and Teittinen, 2019) et les résultats des quelques études existantes sont contrastés (Bolgovics et al., 2016 ; Teittinen and Soininen, 2015). Ces différences dans les résultats sont probablement liées à des échantillonnages assez hétérogènes, des habitats également assez hétérogènes, et la méthodologie d'investigation -la microscopie- dont nous avons déjà critiqué la sensibilité.

Ce type de relation pourrait être abordé avec les prélèvements de diatomées benthiques littorales réalisés dans les quatre grands lacs périalpins : Léman, Bourget, Annecy et Alguebelette. L'intérêt de ces prélèvements réside dans le fait qu'ils ont été réalisés sur le même type de substrat (pierres), dans le même type d'écosystème (grands lacs profonds, même écorégion), avec des efforts et des stratégies d'échantillonnages similaires (Figure 20), et analysés avec la même méthodologie (métabarcoding). Le cadre méthodologique est donc robuste pour aborder la relation espèce- aire.

Si cette relation n'est pas respectée, nous pourrions chercher des hypothèses explicatives connaissant l'histoire environnementale de chacun de ces lacs : Annecy, Aiguebelette sont des lacs qui sont restés relativement indemnes de pollution, ce qui n'est pas le cas du Léman et du Bourget. Par exemple, un lac ayant été plus dégradé dans le passé aura-t-il perdu certaines espèces, et sa résilience pourra-t-elle en être affectée ?

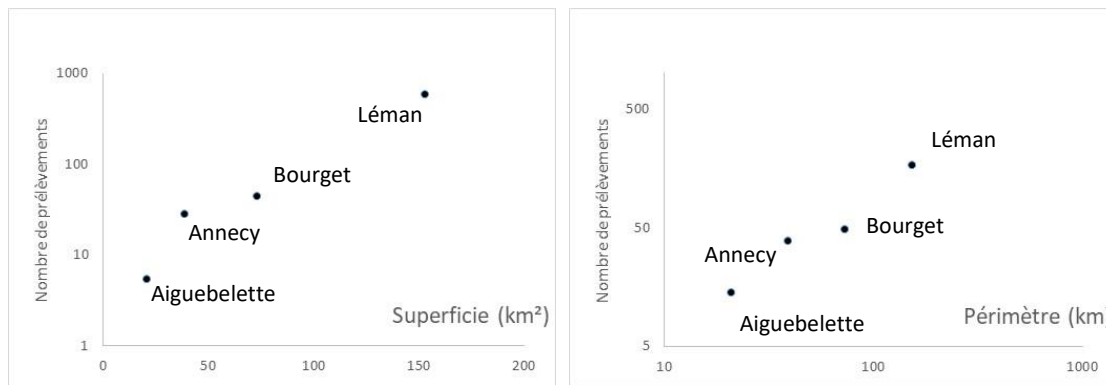


Figure 20 : Nombre de sites de prélèvements de diatomées benthiques littorales réalisés sur les quatre grands lacs périalpins (Léman, Annecy, Bourget, Aiguebelette), en fonctions des caractéristiques de tailles de ces lacs. Les efforts d'échantillonnage sont similaires entre les lacs.

- Lien entre stabilité de l'habitat, dispersion et aire de répartition des espèces ?

La persistance et la stabilité d'un écosystème affectent les capacités de dispersions des organismes. Par exemple, il a été montré que les espèces d'un genre d'insecte vivant dans des mares temporaires avaient des capacités de dispersion beaucoup plus importantes que les espèces du même genre vivant dans des milieux plus pérennes (Hof et al., 2012). D'autres paramètres tels que la pollution, les changements liés à l'activité humaine ou la prédation sont aussi des paramètres qui tendent à favoriser les capacités de dispersion des insectes aquatiques comme les Odonates (Hassall and Thompson, 2008).

Les capacités de dispersion des espèces sont un facteur déterminant de leur aire de répartition, comme cela a été montré chez les insectes, les poissons ou les plantes, même si des exceptions existent (Lester et al., 2007). Par exemple, les espèces d'herbacées qui ont des graines plus lourdes, et qui ont donc des capacités de dispersions plus faibles présentent des aires de répartition plus petites que les espèces qui ont des graines plus légères et facilement transportables (Sonkoly et al., 2017). Pour les diatomées, certains auteurs ont montré que les espèces de plus petites tailles ont plus de chances d'avoir de bonnes capacités de dispersions (Finlay et al., 2002), ou encore les espèces qui ont des capacités d'attachement ont de moins bonnes capacités de dispersion : ces capacités ont un lien avec l'aire de répartition à l'échelle régionale (Rocha et al., 2018 ; Heino and Soininen, 2006). Mais ces résultats doivent être nuancés, car ils sont basés sur des concepts d'espèces probablement trop grossiers (cas de l'étude de Finlay et al., 2002), ou alors l'aire géographique est probablement trop restreinte et trop structurée spatialement pour pouvoir aboutir à des conclusions claires (cas de la Finlande dans Rocha et al., 2018 ; Heino and Soininen, 2006).

Un facteur primaire pour les espèces et qui impacte la stabilité de l'écosystème est la saisonnalité : elle va entraîner des modifications de température, de luminosité, de turbulence (via le vent et les vagues dans les lacs, et via les précipitations et l'intensité du débit dans les rivières) etc... La saisonnalité est plus ou moins marquée selon la latitude : lorsqu'on se rapproche des pôles les écarts annuels de températures ou de luminosité sont importants, et les espèces arctiques présentent de larges aires de répartition (ex. ours blanc ou renard arctique qui sont présents dans toute la région arctique). A contrario, les espèces des zones équatoriales qui vivent dans des milieux beaucoup plus stables ont des aires de répartition plus réduites : c'est le cas des végétaux supérieurs dans les continents américains (Morueta-Holme et al., 2013) ou des mammifères en Amérique du Sud (Ruggiero, 1994). L'impact de la stabilité de l'habitat étudiée sous le filtre de l'intensité de saisonnalité sur l'aire de répartition des espèces de diatomées n'a pas été étudié à ma connaissance.

Dans les grands lacs, des ouvrages d'identification décrivent une diversité très particulière en espèces de diatomées dans les milieux benthiques sublittoraux (vivant à 10 – 20 mètres de profondeur sur les sédiments) comme par exemple dans les lacs Prepas et Ochrid en Macédoine (Levkov et al., 2007) et dans le lac Baïkal (Kulikovskiy and Lange-Bertalot, 2012 ; Kulikovskiy et al., 2015). Ces auteurs décrivent des dizaines de nouveaux taxons et les auteurs affirment que beaucoup sont endémiques. J'ai souvent parcouru ces ouvrages, et je pense que ces auteurs ont probablement raison car ce sont des taxons que je n'ai jamais vus et qui sont morphologiquement très différents des taxons que l'on observe dans les zones littorales à 50 cm de profondeur dans les lacs périalpins en France. Ces milieux sublittoraux sont beaucoup plus stables annuellement que les milieux littoraux de surface (Cantonati and Lowe, 2014) : faibles variations de températures, pas d'action mécanique des vagues, variations des concentrations en nutriments faibles (dans le Léman, le métalimnion se situe à 15 m). En discutant avec ces auteurs, ils m'ont signalé que les milieux benthiques littoraux de surface des lacs qu'ils avaient étudiés (Perspa, Ochrid, Baïkal), comportaient des espèces cosmopolites, les mêmes que l'on trouve dans le Léman... Par contre, j'étais incapable de leur décrire les espèces vivant en zone sublittoral dans les grands lacs de France : elles n'ont jamais été étudiées...

Mon hypothèse est que les milieux sublittoraux présentent des espèces avec des aires de répartition limitées (voire des espèces endémiques) car ces milieux présentent des conditions stables. Au contraire les milieux littoraux de surface présentent des espèces cosmopolites capables de résister à des changements importants de conditions environnementales. Par conséquent, les communautés littorales de surface de lacs différents devraient partager d'avantage d'espèces cosmopolites que les milieux sublittoraux.

Pour valider cette hypothèse, je propose de comparer des prélèvements sublittoraux et littoraux de surface dans plusieurs grands lacs, les grands lacs périalpins (Léman, Annecy, Bourget, Aiguebelette) et les grands lacs de Macédoine (Prespa et Ochrid). Une collaboration avec un collègue diatomiste, Z. Levkov (Macédoine), avec l'accueil d'un étudiant de master pourrait démarrer après 2020. La méthodologie employée sera la microscopie et le métabarcoding, cette dernière méthodologie présente l'avantage de l'homogénéité et de la finesse des identifications (écueil rencontré par Finlay et al., 2002). Le travail sur des lacs de typologies équivalentes et des zones de profondeurs différentes permet d'éviter l'écueil de la structuration géographique de l'environnement (comme celle rencontrée en Finlande par Rocha et al., 2018 et par Heino and Soininen, 2006).

- **Y-a-t-il compétition entre taxons dans les communautés de diatomées benthiques ?**

La composition d'une communauté à partir d'un pool d'espèces disponibles est contrainte par un ensemble de règles d'assemblages (« assembly rules », Keddy, 1992). Ces règles sont une combinaison de processus écologiques qui interagissent entre eux et dont l'importance diffère selon les écosystèmes et les échelles considérées (Weiher and Keddy, 1995 ; Keck and Kahlert, 2019). La compréhension des règles d'assemblage agissant sur les communautés est importante pour la gestion des écosystèmes car elle permet de déterminer les stratégies de gestion les plus pertinentes à adopter pour amener un écosystème vers un état souhaité (Coiffait-Gombault, 2011).

Dans leur revue bibliographique, Lindström and Langenheder (2011) montrent que quatre règles d'assemblage sont prépondérantes pour les microorganismes (cf. Figure 21) :

- (i) le tri des espèces, qui fait l'hypothèse que la dispersion des espèces est suffisante pour permettre la migration vers tous les patches d'habitats et que les conditions locales d'habitat déterminent la composition de la communauté,
- (ii) l'effet de masse, qui fait l'hypothèse qu'une migration massive permet de sauver des espèces de l'exclusion due à la compétition, ce qui permet d'assouplir le lien entre la composition de la communauté et les conditions environnementales locales,

- (iii) le modèle neutre qui fait l'hypothèse que toutes les espèces sont similaires dans leur capacités de compétition et de dispersion ; et la dynamique en patches qui suppose que la diversité est déterminée par la dispersion ou l'interaction des espèces entre patches identiques sur le plan environnemental.
- (iv) les facteurs historiques, qui fait l'hypothèse que les évènements passés, couplés à des limites à la dispersion impactent la composition des communautés.

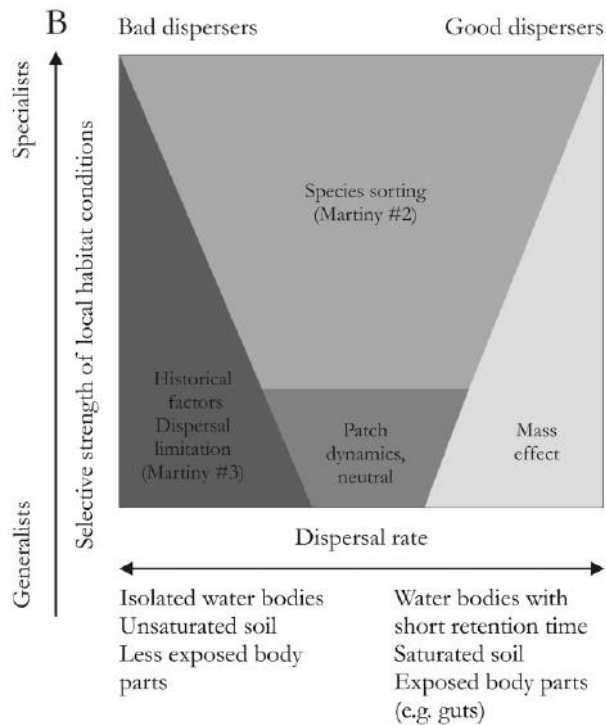


Figure 21 : Principales règles d'assemblage d'espèce chez les microorganismes d'après (Lindström and Langenheder, 2011)

Les règles d'assemblages sont assez peu étudiées chez les diatomées par rapport à d'autres organismes comme les végétaux supérieurs (Stoof-Leichsenring et al., 2020). Une petite dizaine d'études montrent que ce sont surtout les facteurs environnementaux qui déterminent la composition des communautés quelque soit l'échelle spatiale considérée (ex. Bennett et al., 2010, ainsi que la plupart de mes travaux). Mais il existerait également un frein à la dispersion et donc une structuration biogéographique laissant supposer l'importance des aspects historiques sur la composition des communautés (Vyverman et al., 2007). Dans leur revue bibliographique, Sojininen and Teittinen (2019) indiquent également que les règles d'assemblage majoritairement observées sont celles du filtrage environnemental, la compétition est une règle qui n'est jamais observée. Ils indiquent cependant que l'absence d'observation de cette règle est peut-être liée à l'échelle d'observation qui n'est pas adaptée.

L'utilisation de la phylogénie pour l'étude de l'écologie des diatomées permet d'apporter un nouvel éclairage sur ces questions (concept d'écophylogénétique selon Mouquet et al., 2012). Keck (2016) a montré que les préférences écologiques des taxons de diatomées étaient liées à la phylogénie (cf. § 2.4.2). La phylogénie peut donc être utilisée comme proxy de la similarité écologique entre espèces (Keck and Kahlert, 2019). L'étude de la

cooccurrence des taxons et de leur proximité phylogénétique peut être alors interprétée en termes de processus écologique :

Si l'on observe que des taxons co-occurents sont plus apparentés phylogénétiquement que ce qui serait prévu dans des assemblages aléatoires, cela signifie que les espèces sont regroupées phylogénétiquement. Ceci est considéré comme le résultat d'un filtrage environnemental. Par contre, si des taxons co-occurents sont moins apparentés phylogénétiquement que dans des assemblages aléatoires, les espèces sont phylogénétiquement sur-dispersées, ce qui est interprété comme une preuve d'exclusion compétitive.

Ceci a été réalisé dans deux études. La première en Suède sur une large aire géographique à un niveau interspécifique (Keck and Kahlert, 2019), et les auteurs ont montré que c'est le filtrage environnemental qui prédominait. La deuxième a été menée en Sibérie, en paléolimnologie sur des diatomées planctoniques avec une approche de métabarcoding (marqueur ribosomal, 18S), également à un niveau interspécifique et à l'intérieur de plusieurs genres (Stoof-Leichsenring et al., 2020) : les auteurs montrent également que c'est le filtrage environnemental qui prédomine.

Mon hypothèse est qu'il est possible d'observer de la compétition entre taxons de diatomées si l'on se place dans des conditions particulières :

- Il faut d'abord que les conditions de milieu soient les plus homogènes possibles pour limiter l'impact de filtrage environnemental. La zone littorale du Léman, prélevée en juillet 2015 dans le cadre du projet Synaqua, même si elle présente des gradients environnementaux, ceux-ci sont nettement plus réduits que ceux présents dans toutes les études citées ci-dessus. Cette aire d'étude est donc une bonne candidate.
- Il faut ensuite que les taxons étudiés aient des préférences écologiques similaires. En sélectionnant des taxons proches phylogénétiquement, il est donc possible de maximiser ces similitudes écologiques. Il existe chez les diatomées de nombreuses espèces cryptiques qui vivent en sympatrie comme cela a été montré par exemple pour le groupe des *Sellaphora pupula* (Mann et al., 2004), pour les *Cyclotella meneghiniana* (Beszteri et al., 2007). Le métabarcoding, avec le marqueur *rbcl* permet d'accéder à un niveau cryptique ou infra-spécifique : pour de nombreuses espèces présentes sur le littoral du Léman, plusieurs génotypes sont présents (ex. Figure 22).

L'objectif sera donc de tester la présence de compétition ou de filtrage environnemental entre taxons appartenant à une même espèce dans le Léman. Cela pourra être testé avec des génotypes d'une même espèce en intégrant la dimension phylogénétique et le calcul d'indices NTI (nearest taxon index) et NRI (relatedness index) (R package 'picante'; (Kembel et al., 2010)).



Figure 22 : Réseau d'haplotype d'une espèce abondante dans les prélèvements littoraux du Léman (*Gomphonema tergestinum*) et carte géographique de répartition de ces haplotypes dans les Léman.

- Vers une compréhension plus holistique des biofilms

Dans les biofilms de rivière et lacs, les diatomées sont l'élément biologique présentant la plupart du temps l'essentiel de la biomasse. Mais ce n'est évidemment pas le seul élément à y vivre. La thèse de S. Rivera, qui a démarré en 2018, a pour objectif d'utiliser les biofilms comme capteur d'ADN : tous les organismes vivant dans les biofilms, ou à proximité peuvent y laisser des traces d'ADN. En séquençant les biofilms avec des primers spécifiques, nous avons montré qu'il est possible de détecter dans les biofilms des macroinvertébrés (chironomes, odonates, trichoptères, cnidaires ...etc ...) : les structures et diversités des communautés révélées en métabarcoding sont corrélées à celles obtenues par la méthode traditionnelle (filet Surber, tri et détermination sous une loupe). Par contre les compositions taxonomiques sont assez différentes, la diversité et l'abondance de certains organismes comme les Cnidaires (difficiles à détecter sous une loupe) ou des Diptères (probablement de très petits Chironomes) est beaucoup plus importante en métabarcoding.

De la même manière, les travaux en cours de la thèse de S. Rivera montre qu'il est possible aussi de détecter de l'ADN de poissons qui sont passés à proximité de ce biofilm.

L'objectif à moyen terme est donc d'utiliser cette méthodologie basée sur l'utilisation des biofilms comme capteurs d'ADN pour reconstruire le fonctionnement des écosystèmes benthiques (ex. réseau trophique). Cette méthode devrait présenter l'avantage de la facilité de prélèvement, mais également d'accéder à un débit de données important (cf. les méthodes de prélèvement des poissons ou des macroinvertébrés sont assez lourdes). Des collaborations avec les différents collègues de l'UMR Carrtel ou du pôle plan d'eau de l'OFB-INRAE, travaillant sur les zones littorales des lacs, ou travaillant de longue date sur les réseaux trophiques et les différents compartiments biologiques (poissons, invertébrés) seront bien évidemment à prévoir.

3.2. Des objectifs plus appliqués : une aide à la gestion

Le dernier objectif que je souhaite évoquer, est beaucoup plus tourné vers la gestion et l'aide à la décision pour les politiques environnementales. Les politiques sont entourés par de multiples acteurs socio-économiques qui ont souvent des messages directs et faciles à comprendre. Ils peuvent cependant manquer d'objectivité et seulement présenter les bénéfices pour une seule partie prenante. Un exemple peut-être donné ces dernières années avec la valorisation thermique du Léman : les lacs peuvent-être utilisés comme source de chaleur en hiver (chauffage), et comme source de froid en été (climatisation) : une énergie locale, non carbonée, 100% renouvelable (cf. par exemple argumentaire du SIG¹³, SIG website, 2020). A l'écoute de tels arguments, il y a tout lieu pour les collectivités de profiter rapidement de cette source d'énergie. Cependant, aux vues des enjeux¹⁴, peu d'études ont été réalisées et seulement sur quelques éléments environnementaux (Faessler et al., 2012). Des analyses d'impacts plus étendues mériteraient d'être conduites, surtout devant le nombre massif de demandes d'installations tout autour du Léman et les sollicitations des entrepreneurs auprès des pouvoirs politiques locaux. Un réchauffement généralisé des eaux peut par exemple être favorable aux blooms de cyanobactéries toxiques et l'eau du Léman est bue par 1 million de personnes ...

¹³ Le SIG -Service industriels de Genève- : une entreprise semi-publique qui gère les services en eau, gaz, électricité, chaleur. Ils gèrent aussi les eaux usées, l'incinération des déchets.

¹⁴ Uniquement pour le canton de Genève, ce type d'installation refroidit/chauffe depuis 10 ans le centre ville (20 MWatt), une 2^{ème} tranche est cours de réalisation (2020) pour refroidir les bâtiments de l'aéroport (60 MWatt), et une 3^{ème} tranche (140 MWatt) est prévue pour 2035 (svgw, 2020).

La période que nous traversons avec le confinement et la crise sanitaire liée au Covid-19, nous montre à quel point il est important d'avoir un bon dialogue entre scientifiques, politiques et gestionnaires. Dans le cas de la gestion environnementale ce dialogue est nécessaire pour que les bonnes décisions soient prises avec tout l'éclairage que les scientifiques peuvent apporter, avant que des crises écologiques ne se déclarent. Il est aussi nécessaire que les scientifiques croisent leurs expériences disciplinaires pour avoir une vision intégrée des problématiques environnementales et puissent délivrer un message clair vers les politiques et gestionnaires.

Les lacs offrent de nombreux services à une population toujours croissante qui y vit ou séjourne temporairement à proximité : eau potable, loisirs aquatiques et nautiques, pêche, exploitation thermique... D'autres services sont plus difficiles à percevoir, mais sont également cruciaux pour l'homme, comme la biodiversité et les cycles biogéochimiques. Dans le même temps, les lacs et l'ensemble des milieux aquatiques environnants sont soumis à des pressions locales (les micropolluants, la densification de population, l'eutrophisation et l'oligotrophisation, les espèces invasives...) et globales comme le changement climatique. Celui-ci conduit à un réchauffement progressif de la masse d'eau, ainsi qu'à son exposition à des événements météorologiques extrêmes tels que canicules et tempêtes.

Les lacs continueront-ils à rendre ces services ? Quelles seront leurs résiliences face à ces changements ? Le maintien des services écosystémiques demandera de conserver ou restaurer des conditions de milieu exigeantes. Ce sont des questions que posent les politiques et les gestionnaires par exemple au conseil scientifique de la CIPEL¹⁵ dont je fais partie (voir aussi § 1.5.2 à propos de la CIPEL), mais aussi par l'intermédiaire du pôle plan d'eau ECLA¹⁶, ou via les Syndicats intercommunaux des autres grands lacs (Annecy, Bourget, Aiguebelette). Les scientifiques se doivent aussi d'alerter les politiques de problèmes émergents qu'ils n'ont pas encore identifiés. Ces problématiques sont particulièrement pressantes dans le cas du Léman.

Le Léman et son bassin de vie font l'objet de nombreuses études qui examinent différents aspects de son fonctionnement. Toutefois ces études n'appréhendent pas le fonctionnement et la résilience du Léman et de son bassin dans sa globalité. Ceci est pourtant nécessaire pour anticiper les effets du changement climatique, de la densification de population, et des demandes de services qui évoluent dans le temps vis-à-vis du Léman. Si l'on veut garantir durablement la ressource, cette compréhension globale aidera les gestionnaires à décider des mesures d'adaptation et des arbitrages appropriés. Pour ceci, il est nécessaire d'avoir une approche scientifique transdisciplinaire et associant les acteurs socio-économiques du bassin du Léman. Ce serait donc un atout de premier plan pour la gestion future du Léman.

Depuis plusieurs mois, je prends une part active au montage d'un projet Interreg France-Suisse interdisciplinaire autour du Léman. Avec des collègues des français et suisse (notamment : M. Babut de INRAE Villeurbanne et président du conseil scientifique de la CIPEL, G. Pflieger, B. Ibeling et T. Bolognesi de l'Université de Genève, J. Guillard, J.P. Jenny et O. Anneville de INRAE Thonon), nous élaborerons un projet qui pourrait prendre la forme suivante :

¹⁵ La Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL), organe inter-gouvernemental franco-suisse, contribue depuis 1963 à la coordination de la politique de l'eau à l'échelle du bassin versant lémanique, plus particulièrement entre les départements de l'Ain et de la Haute-Savoie ainsi que les cantons de Vaud, du Valais et de Genève. Son objectif est le maintien ou la restauration d'une qualité écologique de l'eau et des milieux aquatiques pour maintenir (ou restaurer) ses services écosystémiques (eau de boisson, loisirs, pêche...)

¹⁶ Pôle ECLA - ECosystèmes LAcustres : rassemble l'OFB (Office Français pour la Biodiversité) et INRAE et a pour objectif de favoriser les échanges science-gestion.

- Anticiper les pressions exercées sur le Léman et concevoir les scénarios d'évolution ses conditions physico-chimiques à l'horizon 2040 (collaboration J.P. Jenny, M.E. Perga, D. Bouffard). Pour ce faire, les pressions globales (scénarii du Giec) et locales (augmentation de la population) seront prises en compte dans des modèles. Ces modèles permettront de définir les conditions physico-chimiques du lac.
- L'évolution du fonctionnement de la zone pélagique, et en particulier, l'occurrence des cyanobactéries toxiques et les stocks de poissons seront modélisés (collaboration O. Anneville, B. Ibeling) en 2040. Les résultats de la modélisation des conditions physico-chimiques seront utilisés comme variable d'entrée de modèles biologiques. Ces modèles biologiques permettront de définir la qualité des services d'approvisionnement (eau potable, poissons).
- Au-delà de ces services d'approvisionnement, de nombreux autres services existent en particulier ceux liés à la zone littorale. D'autre part, le Léman fait l'objet de 100aines de publications à sont sujet, et plus d'une 10aine d'équipes scientifiques et organismes l'étudient. Il est nécessaire de capitaliser ces connaissances sous deux formes. L'une peut prendre la forme d'une revue bibliographique systématique, qui synthétiserait l'état des connaissances sur le Léman et qui identifierait les disciplines ou méthodes jamais appliquées. L'autre peut prendre la forme d'ateliers collectifs où des experts de disciplines différentes prédiraient l'évolution du Léman dans 20 ans, ainsi que les gaps de connaissances.
- Une analyse des conflits d'usage futurs (utilisation des services, répartition des usages, identification des rivalités) sera réalisée à la lumière des prévisions d'évolution des services données par la modélisation et les ateliers collectifs (collaboration C. Brehaut, G. Pflieger, T. Bolognesi). Une analyse des cadres de gouvernance, de leurs capacités de coordination et d'arbitrage, et in fine des propositions d'amélioration pour la gouvernance future du Léman seront données.

Ce projet pourrait se faire en collaboration avec toutes les équipes scientifiques des Universités, Ecoles de France et Suisse autour du Léman (Sciences politiques, Science de l'environnement), ainsi que les gestionnaires et utilisateurs du lac. Enfin, ce projet s'intégrerait parfaitement dans l'axe thématique que je co-anime avec J. Guillard, l'axe « DiagnosE » qui est tourné justement vers la transférabilité des résultats scientifiques aux gestionnaires.

4. Liste des publications, communications et produits

4.1. Liste des publications dans des revues à comité de lecture

113 articles, dont 26 comme 1^{er} auteur et 16 en dernier auteur.

Várbíró, G., Borics, G., Novais, M.H., Morais, M.M., Rimet, F., Bouchez, A., Tapolczai, K., Bácsi, I., Usseglio-Polatera, P., B-Béres, V., 2020. Environmental filtering and limiting similarity as main forces driving diatom community structure in Mediterranean and continental temporary and perennial streams. *Science of The Total Environment* 741, 140459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140459>

Pérez-Burillo, J., Trobajo, R., Vasselon, V., Rimet, F., Bouchez, A., Mann, D.G., 2020. Evaluation and sensitivity analysis of diatom DNA metabarcoding for WFD bioassessment of Mediterranean rivers. *Science of The Total Environment* 138445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138445>

Feio M.J., Serra S.R.Q., Mortagua A., Bouchez A., Rimet F., Vasselon V., Almeida S.F.P., 2020. A taxonomy-free approach based on machine learning to assess the quality of rivers with diatoms. *Science of The Total Environment*, 722, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137900>.

Rimet F., Anneville O., Barbet D., Chardon C., Crépin L., Domaizon I., Dorioz J.M., Espinat L., Frossard V., Guillard J., Goulon C., Hamelet V., Hustache J.C., Jacquet S., Lainé L., Montuelle B., Perney P., Quetin P., Rasconi S., Schellenberger A., Tran-Khac V., Monet G., 2020. The Observatory on LAkes (OLA) database: Sixty years of environmental data accessible to the public. *Journal of Limnology*. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2020.1944>

Rivera S., Vasselon V., Bouchez A., Rimet F., 2020. Diatom metabarcoding applied to large scale monitoring networks: Optimization of bioinformatics strategies using Mothur software. *Ecological Indicators*, 109: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105775>

Vasselon V., Rimet F., Domaizon I., Monnier O., Reyjol Y., Bouchez A., 2019. Assessing pollution of aquatic environments with diatoms' DNA metabarcoding: experience and developments from France water framework directive networks. *Metabarcoding and Metagenomics*, 3: 101–115 DOI 10.3897/mbmg.3.39646

Tapolczai K., Keck F., Bouchez A., Rimet F., Kahlert M., Vasselon V., 2019. Diatom DNA Metabarcoding for Biomonitoring: Strategies to Avoid Major Taxonomical and Bioinformatical Biases Limiting Molecular Indices Capacities. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7: 1-15. doi: 10.3389/fevo.2019.00409

Rimet F., Gusev E., Kahlert M., Kelly M., Kulikovskiy M., Maltsev Y., Mann D., Pfannkuchen M., Trobajo R., Vasselon V., Zimmermann J., Bouchez A., 2019. Diat.barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-51500-6>

Kahlert M., Kelly M.G., Mann D.G., Rimet F., Sato S., Bouchez A., Keck F., 2019. Connecting the morphological and molecular species concepts to facilitate species identification within the genus *Fragilaria* (Bacillariophyta). *Journal of Phycology*, 55: 948-970. DOI: 10.1111/jpy.12886

Anneville O., Chang C.W., Dur G., Souissi S., Rimet F. and Hsieh C.H. 2019. The paradox of re-oligotrophication: the role of bottom-up versus top-down controls on the phytoplankton community. *Oikos*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/oik.06399/abstract>

Rimet, F., Feret, L., Bouchez, A., Dorioz J.M., Dambrine E. (2019) Factors influencing the heterogeneity of benthic diatom communities along the shoreline of natural alpine lakes. *Hydrobiologia* 839: 103-118. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-03999-z>

Mortágua, A., Vasselon, V., Oliveira, R., Elias, C., Chardon, C., Bouchez, A., Rimet, F., Feio M.J., Almeida S.F.P., 2019. Applicability of DNA metabarcoding approach in the bioassessment of Portuguese rivers using diatoms. *Ecological Indicators*. 106:105470. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105470>

Bailet B., Bouchez B., Franc A., Frigerio J.M., Keck F., Karjalainen S.M., Rimet F., Schneider S., Kahler M., 2019. Molecular versus morphological data for benthic diatoms biomonitoring in Northern Europe freshwater and consequences for ecological status. *Metabarcoding and Metagenomics*, 3: 21-35. DOI 10.3897/mbmg.3.34002

Vasselon V., Rimet F., Domaizon I., Monnier O., Reyjol Y., Bouchez A., 2019. Évaluer la pollution des milieux aquatiques avec l'ADN des diatomées : où en sommes-nous ? *Techniques Sciences et Méthodes*, 5 : 53-69.

Weigand, H., A. J. Beermann, F. Čiampor, F. O. Costa, Z. Csabai, S. Duarte, M. F. Geiger, M. Grabowski, F. Rimet, B. Rulik, M. Strand, N. Szucsich, A. M. Weigand, E. Willassen, S. A. Wyler, A. Bouchez, A. Borja, Z. Čiamporová-Zaťovičová, S. Ferreira, K. D. Dijkstra, U. Eisendle, J. Freyhof, P. Gadawski, W. Graf, A. Haegerbaeumer, B. B. van der Hoorn, B. Japoshvili, L. Keresztes, E. Keskin, F. Leese, J. N. Macher, T. Mamos, G. Paz, V. Pešić, D. M. Pfannkuchen, M. A. Pfannkuchen, B. W. Price, B. Rinkevich, M. A. L. Teixeira, G. Várбірó, & T. Ekrem, 2019. DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of the Total Environment* 678: 499–524. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.247

Chonova T, Kurmayer R, Rimet F, Labanowski J, Vasselon V, Keck F, Illmer P and Bouchez A (2019). Benthic Diatom Communities in an Alpine River Impacted by Waste Water Treatment Effluents as Revealed Using DNA Metabarcoding. *Front. Microbiol.* 10:653. doi: 10.3389/fmicb.2019.00653

Viktória B-Béres, Béla Tóthmérész, István Bácsi, Gábor Borics, András Abonyi, Kálmán Tapolczai, Frederic Rimet, Ágnes Bouchez, Gábor Várбірó, Péter Török. 2019. Autumn drought drives functional diversity of benthic diatom assemblages of continental intermittent streams. *Advances in Water Resources*, 126, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.02.010>.

Tapolczai K, Vasselon V, Bouchez A, Stenger-Kovács C, Padisák J, Rimet F. 2019. The impact of OTU sequence similarity threshold on diatom-based bioassessment: A case study of the rivers of Mayotte (France, Indian Ocean). *Ecology and Evolution* 2018: 1–14. <https://doi.org/10.1002/ece3.4701>

Stubbington R, Paillex A, England J, Barthès A, Bouchez A, Rimet F, Sánchez-Montoya MM, Westwood CG, Datry T, 2019. A comparison of biotic groups as dry-phase indicators of ecological quality in intermittent rivers and ephemeral streams. *Ecological Indicators* 97, 165–174.

Keck, F., Vasselon, V., Rimet, F., Bouchez, A., Kahlert, M., 2018. Boosting DNA metabarcoding for biomonitoring with phylogenetic estimation of operational taxonomic units' ecological profiles. *Molecular Ecology Resources*, 1-11. DOI: 10.1111/1755-0998.12919

Esteves S. M., Almeida S. F. P., Gonçalves S., Rimet F., Bouchez A., Figueira E., 2018. Sensitive vs. tolerant *Nitzschia palea* (Kützinger) W. Smith strains to atrazine: a biochemical perspective. *Ecotoxicology*, <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1953-1>

Lefrançois, E., Apothéloz-Perret-Gentil, L., Blancher, P., Botreau, S., Chardon, C., Crepin, L., Cordier T., Cordonier A., Domaizon I., Ferrari B.J.D., Guéguen J., Hustache J.C., Jacas L., Jacquet S., Lacroix S., Mazenq A.L., Pawłowska A., Perney P., Pawłowski J., Rimet F., Rubin J.F., Trevisan D., Vivien R., Bouchez A., (2018). Development and implementation of eco-genomic tools for aquatic ecosystem biomonitoring: the SYNAQUA French-Swiss program. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–9. doi:10.1007/s11356-018-2172-2

Jan Pawlowski, Mary Kelly-Quinn, Florian Altermatt, Laure Apothéloz-Perret-Gentil, Pedro Beja, Angela Boggero, Angel Borja, Agnès Bouchez, Tristan Cordier, Isabelle Domaizon, Maria Joao Feio, Ana Filipa Filipe, Riccardo Fornaroli, Wolfram Graf, Jelger Herder, Berry van der Hoorn, J. Iwan Jones, Marketa Sagova-Mareckova, Christian Moritz, Jose Barquín, Jeremy J. Piggott, Maurizio Pinna, Frederic Rimet, Buki Rinkevich, Carla Sousa-Santos, Valeria Specchia, Rosa Trobajo, Valentin Vasselon, Simon Vitecek, Jonas Zimmerman, Alexander Weigand, y, Florian Leese, Maria Kahlert (2018) The future of biotic indices in the ecogenomic era: Integrating (e)DNA metabarcoding in biological assessment of aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment* 637–638, 1295–1310.

Rimet F, Druart J-C. 2018. A trait database for Phytoplankton of temperate lakes. *Ann. Limnol. - Int. J. Lim.* 54: 18. <https://doi.org/10.1051/limn/2018009>

Mougin, C., Artige, E., Marchand, F., Mondy, S., Ratié, C., Sellier, N., Castagnone, P., Coeur D'Acier, A., Esmenjaud, D., Faivre-Primot, C., Granjon, L., Hamelet, V., Lange, F., Pages, S., Rimet, F., Ris, N., Salle, G. (2018). BRC4Env, a network of Biological Resource Centres for research in environmental and agricultural sciences. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI : 10.1007/s11356-018-1973-7

Rivera S., Vasselon V., Ballorain K., Carpentier A., Wetzel C., Ector L., Bouchez A., Rimet F., 2018. DNA Metabarcoding and Microscopic Analyses of Sea Turtles Biofilms: Complementary to Understand Turtle Behavior. *PLOS ONE* 13(4): e0195770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195770>

Rimet F., Abarca N., Bouchez A., Kusber W.H., Jahn R., Kahlert M., Keck F., Kelly M.G., Mann D.G., Piuze A., Trobajo R., Tapolczai K., Vasselon V., Zimmermann J., 2018. The potential of High-Throughput Sequencing (HTS) of natural samples as a source of primary taxonomic information for reference libraries of diatom barcodes. *Fottea, Olomouc*, 18(1): 37–54. DOI: 10.5507/fot.2017.013

Rimet F., Vasselon V., A.-Keszte B., Bouchez A., 2018. Do we similarly assess diversity with microscopy and high-throughput sequencing? Case of microalgae in lakes. *Organisms Diversity & Evolution*. 18: 51–62. DOI: 10.1007/s13127-018-0359-5

Vasselon V., Bouchez A., Rimet F., Jacquet S., Trobajo R., Corniquel M., Tapolczai K., Domaizon I., 2018. Avoiding quantification bias in metabarcoding: Application of a cell biovolume correction factor in diatom molecular biomonitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 2018: 1-10. DOI: 10.1111/2041-210X.12960

Frossard V., Rimet F., Perga M.E., 2018. Causal networks reveal the dominance of bottom-up interactions in large, deep lakes. *Ecological Modelling* 368: 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.11.021>

Anneville A., Dur G., Rimet F., Souissi S., 2018. Plasticity in phytoplankton annual periodicity: an adaptation to long-term environmental changes. *Hydrobiologia*, 824: 121–141. DOI: 10.1007/s10750-017-3412-z

Feret L., Bouchez A., Rimet F. 2017. Benthic diatom communities in high altitude lakes: a large scale study in the French Alps. *International Journal of Limnology*, 53: 411–423. DOI: 10.1051/limn/2017025

Rivera S.F., Vasselon V., Jacquet S., Bouchez A., Ariztegui D. & Rimet F., 2018. Metabarcoding of lake benthic diatoms: from structure assemblages to ecological assessment. *Hydrobiologia*, 807, 37-51. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3381-2>

Tapolczai K., Bouchez A., Stenger-Kovács C., Padisák J., Rimet F., 2017. Taxonomy- or trait-based ecological assessment for tropical rivers? Case study on benthic diatoms in Mayotte island (France, Indian Ocean). *Science of the Total Environment*, 607–608: 1293–1303.

Sara M. Esteves, François Keck, Salomé F. P. Almeida, Etelvina Figueira, Agnès Bouchez, Frédéric Rimet. 2017. Can we predict diatoms herbicide sensitivities with phylogeny? Influence of intraspecific and interspecific variability. *Ecotoxicology*. DOI 10.1007/s10646-017-1834-z

Onur Kerimoglu, Stéphan Jacquet, Brigitte Vinçon-Leite, Bruno Lemaire, Frédéric Rimet, Frédéric Soullignac, Dominique Trévisan, Orlane Anneville. 2017. Modelling the plankton groups of the deep, peri-alpine Lake Bourget. *Ecological Modelling*, 359: 415–433

Valentin Vasselon, Frédéric Rimet, Kálmán Tapolczai, Agnès Bouchez. 2017. Assessing ecological status with diatoms DNA metabarcoding: Scaling-up on a WFD monitoring network (Mayotte island, France). *Ecological Indicators*, 82: 1-12.

Keck F., Vasselon V., Tapolczai K., Rimet F., Bouchez A., 2017. Freshwater biomonitoring in the Information Age. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(5): 266–274. doi:10.1002/fee.1490

Marcel, R., Berthon, V., Castet, V., Rimet, F., Thiers, A., Labat, F., Fontan, B., 2017. Modelling diatom life forms and ecological guilds for river biomonitoring. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 418: 1-15.

Vasselon V., Domaizon I., Rimet F., Kahlert M., Bouchez A., 2017. Application of high-throughput sequencing (HTS) metabarcoding to diatom biomonitoring: do DNA extraction methods matter? *Freshwater Science* 36: 162-177.

J.-M. Frigerio, F. Rimet, A. Bouchez, E. Chancerel, P. Chaumeil, F. Salin, S. Théron, M. Kahlert, A. Franc. 2016. *diagno-syst*: a tool for accurate inventories in metabarcoding. arXiv:1611.09410. *Quantitative Methods (q-bio.QM)*. 24 pp.

Leese F, Altermatt F, Bouchez A, Ekrem T, Hering D, Meissner K, Mergen P, Pawlowski J, Piggott J, Rimet F, Steinke D, Taberlet P, Weigand A, Abarenkov K, Beja P, Bervoets L, Björnsdóttir S, Boets P, Boggero A, Bones A, Borja Á, Bruce K, Bursić V, Carlsson J, Čiampor F, Čiamporová-Zatovičová Z, Coissac E, Costa F, Costache M, Creer S, Csabai Z, Deiner K, DelValls Á, Drakare S, Duarte S, Eleršek T, Fazi S, Fišer C, Flot J, Fonseca V, Fontaneto D, Grabowski M, Graf W, Guðbrandsson J, Hellström M, Hershkovitz Y, Hollingsworth P, Japoshvili B, Jones J, Kahlert M, Kalamujic Stroil B, Kasapidis P, Kelly M, Kelly-Quinn M, Keskin E, Kõljalg U, Ljubešić Z, Maček I, Mächler E, Mahon A, Marečková M, Mejdandzic M, Mircheva G, Montagna M, Moritz C, Mulk V, Naumoski A, Navodaru I, Padišák J, Pálsson S, Panksep K, Penev L, Petrusek A, Pfannkuchen M, Primmer C, Rinkevich B, Rotter A, Schmidt-Kloiber A, Segurado P, Speksnijder A, Stoev P, Strand M, Šulčius S, Sundberg P, Traugott M, Tsigenopoulos C, Turon X, Valentini A, van der Hoorn B, Várbró G, Vasquez Hadjilyra M, Viguri J, Vitonytė I, Vogler A, Vrålstad T, Wägele W, Wenne R, Winding A, Woodward G, Zegura B, Zimmermann J (2016) DNAqua-Net: Developing new genetic tools for bioassessment and monitoring of aquatic ecosystems in Europe. *Research Ideas and Outcomes* 2: e11321. <https://doi.org/10.3897/rio.2.e11321>

Keck, F., Rimet F., Bouchez A. & Franc A. 2016. *phyloSignal*: an R package to measure, test, and explore the phylogenetic signal. *Ecology and Evolution*, 3: 1-7.

Tapolczai K., Bouchez A., Stenger-Kovacks C., Padišák J. & Rimet F., 2016. Trait-based ecological classifications for benthic algae: review and perspectives. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-016-2736-4

Chonova T., Keck F., Labanowski J., Montuelle B., Rimet F., & Bouchez A. 2016 Separate treatment of hospital and urban wastewaters: A real scale comparison of effluents and their effect on microbial communities. *Science of the Total Environment* 542: 965-975.

Keck F., Bouchez A., Franc A. & Rimet F., 2016. Linking phylogenetic similarity and pollution sensitivity to develop ecological assessment methods: A test with river diatoms. *Journal of Applied Ecology*, 1-9.

Ács E., Ari E., Duleba M., Dressler M., Genkal S.I., Jakó E., Rimet F., Ector L. & Kiss K.T., 2016. *Pantocsekiella*, a new centric diatom genus based on morphological and genetic studies. *Fottea*, 16: 56-78.

Rimet F., Bouchez A., Tapolczai K., 2016. Spatial heterogeneity of littoral benthic diatoms in a large lake: monitoring implications. *Hydrobiologia*, 771, 179-193.

Rimet F., Chaumeil P., Keck F., Kermarrec L., Vasselon V., Kahlert M., Franc A & Bouchez A., 2016. R-Syst::diatom: An open-access and curated barcode database for diatoms and freshwater monitoring. Database: The Journal of Biological Databases and Curation. 2016, 1-21.

Keck, F., Rimet F., Franc A., Bouchez A., 2016. Phylogenetic signal in diatom ecology: perspectives for aquatic ecosystems biomonitoring. *Ecological Applications*. 26(3), 861–872.

Larras F., Rimet F., Grégorio V., Bérard A., Leboulanger C., Montuelle B., Bouchez A. (2015) Pollution Induced Community Tolerance (PICT) as a tool for monitoring Lake Geneva long-term in-situ ecotoxic restoration from herbicides contamination. *Environmental Science and Pollution Research* DOI 10.1007/s11356-015-5302-0

Perga M.E., Frossard V., Jenny J.P., Alric B., Arnaud F., Berthon V., Black J., Domaizon I., Giguex-Covex C., Kirkham A., Millet L., Pailles C., Pignol C., Poulenard J., Reyss J.L., Rimet F., Savichtcheva O., Sabatier P., Sylvestre F., Verneaux V. 2015. High-resolution paleolimnology opens new management perspectives for lakes adaptation to climate warming. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 3:72. DOI:10.3389/fevo.2015.00072

Kahlert M., Bouchez A., Chaumeil P., Franc A., Frigerio J. M., Rimet F., Salin F. and Vasselon V. 2015. Gaps to Fill When Analyzing Freshwater Diatom Diversity with Dna Barcoding - Notes from A Boreal Region. *European Journal of Phycology* 50: 23-24.

Anneville O., Domaizon I., Kerimoglu O., Rimet F., Jacquet S., 2015. Blue-Green Algae in a “Greenhouse Century”? New Insights from Field Data on Climate Change Impacts on Cyanobacteria Abundance. *Ecosystems*, 18: 441–458.

Rimet F., Bouchez A., Montuelle B., 2015. Benthic diatoms and phytoplankton to assess nutrients in a large lake: Complementarity of their use in Lake Geneva (France–Switzerland). *Ecological Indicators*, 53: 231-239.

Tapolczai K., Anneville O., Padisak J., Salmaso N., Morabito G., Zohary T., Tadonleke R., Rimet F., 2015. Occurrence and mass development of *Mougeotia* spp. (Zygnemataceae) in large, deep lakes. *Hydrobiologia*, 745: 17-29.

Jacquet S., Kerimoglu O., Rimet F., Paolini G., Anneville O., 2014. Cyanobacterial bloom termination: the disappearance of *Planktothrix rubescens* from Lake Bourget (France) after restoration. *Freshwater Biology*, 59: 2472–2487.

Martinet J., Descloux S., Guédant P., Rimet F., 2014. Phytoplankton functional groups for ecological assessment in young sub-tropical reservoirs: case study of the Nam-Theun 2 Reservoir, Laos, South-East Asia. *Journal of Limnology*, 73: 536-550. (IF 2012: 1.4)

Larras F., Montuelle B., Rimet F., Chèvre N., Bouchez A., 2014. Seasonal shift in the sensitivity of a natural benthic microalgal community to a herbicide mixture: impact on the protective level of thresholds derived from species sensitivity distributions. *Ecotoxicology*, 23, 1109-1123.

Rimet F., Trobajo R., Mann D.G., Kermarrec L., Franc A., Domaizon I., Bouchez A., 2014. When is sampling complete? The effects of geographical range and marker choice on perceived diversity in *Nitzschia palea* (Bacillariophyta). *Protist*, 165: 245-249.

Berthon V., Alric B., Rimet F. & Perga M.E., 2014. Sensitivity and responses of diatoms to climate warming in lakes heavily influenced by humans. *Freshwater Biology*, 59, 1755–1767. doi:10.1111/fwb.12380

Jacquet S., Rimet F. & Druart J.C., 2014. Composition and dynamics of phytoplanktonic communities in 3 large and deep western European lakes: an outline of the evolution from 2004 to 2012. In: *Phytoplankton, biology, classification and environmental impacts*. Sebastia M.T. (ed.). Nova Science Publisher, ISBN 978-1-62948-652-9. pp. 131-149.

Kermarrec L., Franc A., Rimet F., Chaumeil P., Frigerio J.M., Humbert J.F., Bouchez A., 2014. A next-generation sequencing approach to river biomonitoring using benthic diatoms. *Freshwater Science*, 33: 349-364.

Zhong X., Rimet F., Jacquet S., 2014. Seasonal variations in PCR-DGGE fingerprinted viruses infecting phytoplankton in large and deep peri-alpine lakes. *Ecological Research*, 29: 271-287.

Larras F., Keck F., Montuelle B., Rimet F. & Bouchez A., 2014. Linking Diatom Sensitivity to Herbicides to Phylogeny: A Step Forward for Biomonitoring? *Environmental Science and Technology*, 48: 1921-1930.

Trobajo R., Mann D.G., Rovira L., Rimet F., Kermarrec L. 2013. *Nitzschia*: A Complex Variation Pattern Has A Complex Explanation. *Phycologia* 52 (4):113.

Larras F., Lambert A.S., Pesce S., Rimet F., Bouchez A., Montuelle B., 2013. The effect of temperature and a herbicide mixture on freshwater periphytic algae. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98: 162-170.

Kermarrec L., Bouchez A., Rimet F., Humbert J.F., 2013. First Evidence of the Existence of Semi-Cryptic Species and of a Phylogeographic Structure in the *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing Complex (Bacillariophyta). *Protist*, 164: 686-705.

Berthon V., Marchetto A., Rimet F., Dormia E., Jenny J.P., Pignol C., Perga M.E., 2013. Trophic history of French sub-alpine lakes over the last ~150 years: phosphorus reconstruction and assessment of taphonomic biases. *Journal of Limnology*, 72: 417-429.

Kermarrec L., Franc A., Rimet F., Chaumeil P., Humbert J.F. & Bouchez A., 2013. Next-generation sequencing to inventory taxonomic diversity in eukaryotic communities: a test for freshwater diatoms. *Molecular Ecology Resources*, 13: 607-619.

Birck C., Domaizon I. & Rimet F., 2013. Monitoring of French altitude lakes in multi-stressors situations: focus on 5 lakes in Haute-Savoie. Conference Volume, 5th Symposium for Research in Protected Areas, 10 to 12 June 2013, Mittersill Austria. pp 59-64.

Marcel R., Bouchez A. & F. Rimet, 2013. Influence of herbicide contamination on diversity and ecological guilds of river diatoms. *Cryptogamie Algologie*, 34: 169-183.

Gregorio V., Büchi L., Anneville O., Rimet F., Bouchez A. & Chèvre N., 2012. Risk of herbicide mixtures as a key parameter to explain phytoplankton fluctuation in a great lake: the case of Lake Geneva, Switzerland. *Ecotoxicology*, 21(8): 2306-2318.

Larras F., Bouchez A., Rimet F. & Montuelle B. 2012. Using Bioassays and Species Sensitivity Distributions to Assess Herbicide Toxicity towards Benthic Diatoms. *PLoS ONE* 7 (8): 1-9.

Rimet F. & Bouchez A., 2012. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and management of aquatic ecosystems*, 406: 1-14.

Briand J.F., Djeridi I., Jamet D., Coupé S, Bressya C., Molmeret M., Le Berre B., Rimet F., Bouchez A. & Blache Y., 2012. Pioneer marine biofilms on artificial surfaces including antifouling coatings immersed in two contrasting French Mediterranean coast sites. *Biofouling*, 28: 453-463.

Rimet F., 2012. Recent views on river pollution and diatoms. *Hydrobiologia*. 683: 1-24.

Rimet F. & Bouchez A., 2012. Biomonitoring River Diatoms: Implications of Taxonomic Resolution. *Ecological Indicators*, 15: 92-99.

Kermarrec L., Ector L., Bouchez A., Rimet F. & Hoffmann L., 2011. A preliminary phylogenetic analysis of the Cymbellales based on 18S rDNA gene sequencing. *Diatom Research*, 26: 305-315.

Rimet F., Kermarrec L., Bouchez A; Hoffmann L., Ector L. & Medlin L., 2011. Molecular phylogeny of the family Bacillariaceae based on 18S rDNA sequences: focus on freshwater *Nitzschia* of the Lanceolatae section. *Diatom Research*. 26: 273-291.

Berthon V., Bouchez A. & Rimet F., 2011. Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia*, 673: 259–271.

Monnier O., Ector L., Rimet F., Ferréol M. & Hoffmann L., 2011. *Adlafia langebertalotii* sp. nov. (Bacillariophyceae), a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg morphologically similar to *A. suchlandtii* comb. nov. *Nova Hedwigia*, 141 : 131-140.

Rimet F. & Bouchez A., 2011. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches. *Ecological Indicators*, 11: 489-499.

Dorigo U., Bérard A., Bouchez A., Rimet F. & Montuelle B., 2010. Transplantation of Microbenthic Algal Assemblages to Assess Structural and Functional Recovery After Diuron Exposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59: 555-563.

Rimet F., Couté A., Piuz A., Berthon V. & Druart J.C., 2010. *Achnantheidium druartii* sp. nov. (Achnanthes, Bacillariophyta): A new species invading European rivers. *Vie et Milieu*, 60: 185-195.

Rolland A., Rimet F. & Jacquet S., 2010. A 2-year survey of phytoplankton in the Marne Reservoir (France): A case study to validate the use of an in situ spectrofluorometer by comparison with algal taxonomy and chlorophyll a measurements. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 398 (2): 1-19.

Dorigo U., Bérard A., Rimet F., Bouchez A. & Montuelle B. 2010. In situ assessment of periphyton recovery in a river contaminated by pesticides. *Aquatic Toxicology*, 98: 396-406.

Rimet F., 2009. Benthic diatom assemblages and their correspondence with ecoregional classifications: case study of rivers in north-eastern France. *Hydrobiologia*, 636: 137-151.

Rimet F., Ector L., Cauchie H.M. & Hoffmann L., 2009. Changes in diatom-dominated biofilms during simulated improvements in water quality: implications for diatom-based monitoring in rivers. *European Journal of Phycology*, 44: 567-577.

Kaiblinger C., Anneville O., Tadonleke R., Rimet F., Druart J.C., Guillard J. & Dokulil M.T., 2009. Central European water quality indices applied to long-term data from peri-alpine lakes: test and possible improvements. *Hydrobiologia* 633: 67-74.

Rimet F., Druart J.C. & Anneville O., 2009. Exploring the dynamics of plankton diatom communities in Lake Geneva using emergent self-organizing maps (1974-2007). *Ecological Informatics*, 4: 99-101.

Druart J.C. & Rimet F., 2009. Dynamique du peuplement de diatomées pélagiques du Léman de 1974 à 2007. Archives des Sciences, 61 : 17-32.

Tudesque L., Rimet F. & Ector L., 2008. A new taxon of the section *Nitschia* Lanceolatae Grunow (Bacillariophyceae): *Nitschia costei* sp. nov. comparison with *N. fonticola* (Grunow) Grunow in Van Heurck, *N. macedonica* Hustedt, *N. tropica* Hustedt and related species. Diatom Research, 23: 483-501.

Beltrami M.E., Blanco S., Ciutti F., Cappelletti C., Monauni C., Pozzi S., Rimet F. & Ector L., 2008. Distribution and ecology of *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt (Bacillariophyta) in Trentino watercourses (Northern Italy). Cryptogamie Algologie, 29 (2): 141-160.

Rimet F., Gomà J., Cambra J., Bertuzzi E., Cantonati M., Cappelletti C., Ciutti F., Cordonier A., Coste M., Delmas F., Tison J., Tudesque L., Vidal H. & Ector L., 2007. Benthic diatoms in western European streams with altitudes above 800 m: Characterisation of the main assemblages and correspondence with ecoregions. Diatom Research, 22: 147-188.

Tison J., Park Y.S., Coste M., Wasson J.G., Rimet F., Ector L. & Delmas F., 2007. Predicting diatom reference communities at the French hydrosystem scale: A first step towards the definition of the good ecological status. Ecological Modelling, 203: 99-108.

Torrisi M., Rimet F., Cauchie H.M., Hoffmann L. & Ector L., 2006. Bioindication par les diatomées épilithiques et épiphytes dans la rivière Sûre (Luxembourg). Belgian Journal of Botany 139: 103-112.

Gomà J., Rimet F., Cambra J., Hoffmann L. & Ector L., 2005. Diatom communities and water quality assessment in mountain rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). Hydrobiologia, 551: 209-225.

Gosselain V., Coste M., Campeau S., Ector L., Fauville C., Delmas F., Knoflacher M., Licursi M., Rimet F., Tison J., Tudesque L. & Descy J.P., 2005. A large-scale stream benthic diatom database. Hydrobiologia, 542: 151-163.

Rimet F., Cauchie H.M., Hoffmann L. & Ector L., 2005. Response of diatom indices to simulated water quality improvements in a river. Journal of Applied Phycology, 17: 119-128.

Rimet F., Ciutti F., Cappelletti C. & Ector L., 2005. Ruolo delle Diatomee nell'applicazione della Direttiva Europea Quadro sulle acque. Biologia Ambientale, 19: 87-93.

Rimet F. & Ector L. 2005. Role of diatoms in the application of the Water Framework Directive in Europe: recent developments in France. Diatomedelingen 28-29: 31-36.

Tison J., Park Y.-S., Coste M., Wasson J.G., Ector L., Rimet F., Delmas F., 2005. Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: A study on the French hydrosystem scale. Water Research, 39: 3177-3188.

Bérard A., Rimet F., Capowiez Y. & Leboulanger C., 2004. Procedures for determining the pesticide sensitivity of indigenous soil algae - a possible bioindicator of soil contamination? Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 46: 24-31.

Gevrey M., Rimet F., Park Y.S., Giraudel J.L., Ector L. & Lek S., 2004. Water quality assessment using diatom assemblages and advanced modelling techniques. Freshwater Biology, 49: 208-220.

Monnier O., Lange-Bertalot H., Rimet F., Hoffmann L. & Ector L., 2004. *Achnantheidium atomoides* sp. nov., a new diatom from the Grand-Duchy of Luxembourg. Life and Environment 54 (2-3): 127-136.

Monnier O., Ector L., Rimet F. & Lange-Bertalot H. (2004). Taxonomia de las Achnanthesiaceae de los ríos de Luxemburgo. *Algas* 31: 11.

Rimet F., Ector L., Dohet A. & Cauchie H.M., 2004. Impacts of fluoranthene on diatom assemblages and frustule morphology in indoor microcosms. *Life and Environment* 54 (2-3): 145-156.

Rimet F., Ector L., Cauchie H.M. & Hoffmann L., 2004. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia*, 520: 105-117.

Prygiel J., Carpentier P., Almeida S., Coste M., Druart J.C., Ector L., Guillard D., Honoré M.A., Iserentant R., Ledeganck P., Lalanne-Cassou C., Lesniak C., Mercier I., Moncaut P., Nazart M., Nouchet N., Peres F., Peeters V., Rimet F., Rumeau A., Sabater S., Straub F., Torrisi M., Tudesque L., Van de Vijver B., Vidal H., Vizinet J. & Zydek N. 2002. Determination of the Biological Diatom Index (IBD NF T 90 - 354): results of an intercomparison exercise. *Journal of Applied Phycology*, 14: 27-39.

Leboulanger C., Rimet F., Hême de Lacotte M. & Bérard A. 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on freshwater microalgae. *Environment International*, 26: 130-135.

Seguin F., Leboulanger C., Rimet F., Druart J.C. & Bérard A., 2001. Effects of atrazine and nicosulfuron on phytoplankton in systems of increasing complexity. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*, 40: 198-208.

Rimet F., Hême de Lacotte M., Leboulanger C., Druart J.C. & Bérard, A., 1999. Comparaison des effets de l'Atrazine et du Nicosulfuron sur les communautés phytoplanctoniques du Léman. *Archives Scientifiques de Genève*, 52: 111-122.

4.2. Communications et poster dans des colloques scientifiques à comité de lecture

Lefrançois E., Blancher P., Bouchez A., Gueguen J., Pawlowski J., Rimet F., Vasselon V., Kelly M., 2019. Implementation of genomic tools in water quality biomonitoring: comparison between the French and the English model. 6th Biennial Symposium of the International Society for River Science 8-13 Sept. 2019 – Vienna, Austria. Communication.

Blancher P., Lefrançois E., Bouchez A., Ferrari B., Gueguen J., Mazonq A.L., Pawlowska A., Pawlowski J., Perret-Gentil L., Rimet F., Trevisan D., Vasselon V., 2019. Scenario and action plan for the deployment of genomic for water quality biomonitoring in France. 6th Biennial Symposium of the International Society for River Science 8-13 Sept. 2019 – Vienna, Austria. Communication.

Rimet F., Rivera S., Vasselon V., Bouchez A., 2019. Use of DNA-metabarcoding for diatom monitoring: from proof of concept to routine use. 6th Biennial Symposium of the International Society for River Science 8-13 Sept. 2019 – Vienna, Austria. Communication.

Baričević A., Chardon C., Marić Pfannkuchen D., Kužat N., Vasselon V., Tanković M.S., Zorinc M.L., Rimet F., Bouchez A. and Pfannkuchen M., 2019.) Hidden diatom diversity of the Northern Adriatic through metabarcoding. 7th European Phycological Congress. Zagreb, 25-30 August, 2019 (comm orale)

Blancher P., Bouchez A., Gueguen J., Cordonnier A., Ferrari B., Mazonq A.L., Pawlowska A., Pawlowski J., Rimet F., Rubin J.F., Lefrançois E., 2018. Implication des acteurs dans une réflexion sur le développement des techniques génomiques de bioindication : le projet Synaqua. Colloque interdisciplinaire « Gestion intégrée des eaux : enjeux entre société et nature », Lausanne (Switzerland), 6-7 December 2018 (poster)

Bouchez A., Chardon C., Gueguen J., Jacas L., Lacroix S., Pawlowski J., Rivera S., Vasselon V., Rimet F., 2019. DNA-metabarcoding for high-density biomonitoring of lakes. 8th International Barcode of Life Conference, Trondheim (Norway), June 17-20, 2019 (comm orale)

Vasselon V., Rivera S., Domaizon I., Rimet F., Baudoin J.M., Bouchez A., 2019. Use of diatom DNA metabarcoding for freshwater quality assessment: progress and prospects in the frame of French rivers monitoring networks. 8th International Barcode of Life Conference, Trondheim (Norway), June 17-20, 2019 (comm orale)

Kahlert M., Kelly M., Mann D.G., Rimet F., Sato S., Bouchez A., Baillet B., Juggins S., Keck F., Vasselon V., 2019. Connecting the molecular species concept of the genus *Fragilaria* (Bacillariophyta) to ecology. SEFS2019 Zagreb. Communication.

Vautier M., Vasselon V., Baudoin J.M., Bouchez A., Capelli C., Chardon C., Kurmayer R., Logez M., Rimet F., Rund H., Salmaso N., Wanzeböck J., Domaizon I., 2019.) Application of eDNA methods for biomonitoring of Alpine lakes and rivers : the Eco-AlpsWater project for innovative ecological assessment. 8th International Barcode of Life Conference, Trondheim (Norway), June 17-20, 2019 (poster)

Anneville O., Dur G., Rimet F., Chang C.W., Hsieh C.H., Souissi S., 2018. Reducing phytoplankton diversity to understand ecosystem functioning: The Baroque in the Nature. Communication.

Bouchez A., KECK F., Vasselon V., Rimet F. (2018) Diatoms metabarcoding to monitor freshwater ecosystems. 5th European Biofilm Workshop 2018 "Omic approaches in biofilm research: advances in ecology and ecotoxicology", Sven Lovén Center – Kristineberg (Sweden), 11-13 September 2018. (communication invitée)

Bouchez A., Chardon C., Gueguen J., Jacas L., Lacroix S., Rivera SF., Vasselon V., Rimet F. (2018) DNA-metabarcoding for monitoring benthic diatom communities in lakes. 'Big Lakes - Small World' ELLS-IAGLR joined meeting, Evian (France), 23-28 September 2018. (communication)

Gueguen J., Chardon C., Crépin L., Demir R., Domaizon I., Hustache J.C., Jacas L., Lacroix S., Perney P., Perret-Gentil L., Rimet F., Pawlowski J., Bouchez A. (2018) Shoreline quality of lake Geneva using environmental DNA of benthic diatoms. 'Big Lakes - Small World' ELLS-IAGLR joined meeting, Evian (France), 23-28 September 2018. (communication)

Rimet F., Bouchez A. (2018) Littoral benthic diatoms in lakes: which advantages for ecological assessment? 'Big Lakes - Small World' ELLS-IAGLR joined meeting, Evian (France), 23-28 September 2018. (communication)

Rivera SF, Vasselon V, Tapolczai K, Rimet F, Bouchez A., 2018. Diatom metabarcoding for biomonitoring: an overview. XIX Conference of the Iberian Association of Limnology Inland waters and XXI century challenges: from scientific knowledge to environmental management. 24 – 29 June 2018, Coimbra, Portugal. Book of abstracts, p 163. Communication.

Mortágua A., Vasselon V., Oliveira R., Elias C., Chardon C., Bouchez A., Rimet F., Feio M.J., Almeida S.F.P., 2018. DNA metabarcoding approach as a complementary technique for assessment of Portuguese rivers using diatoms. XIX Conference of the Iberian Association of Limnology Inland waters and XXI century challenges: from scientific knowledge to environmental management. 24 – 29 June 2018, Coimbra, Portugal. Book of abstracts, p 162. Communication.

Baillet B., Bouchez A., Chaumeil P., Franc A., Frigerio J.M., Karjalainen S.M., Ólafsson J., Rimet F., Salin F., Schneider S., Kahlert M. (2018) Pipelines for diatom metabarcoding in water quality assessment. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Baricevic A., Chardon C., Maric-Pfrankkuchen D., Kuzat N., Vasselon V., Smoldlaka-Tankovic M., Rimet F., Bouchez A., Pfrankkuchen M. (2018) Two-way insight into diatom diversity of the Northern Adriatic. High-Throughput Sequencing in marine phytoplankton research. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (poster)

Chonova T., Kurmayer R., Vasselon V., KECK F., Rimet F., Labanowski J., Illmer P., Bouchez A. (2018) Diatom metabarcoding to evaluate community changes in river biofilms linked to pharmaceutical loads from a wastewater treatment plant. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Gueguen J., Chardon C., Crépin L., Demir R., Domaizon I., Hustache J.C., Jacas L., Lacroix S., Perney P., Perret-Gentil L., Rimet F., Pawlowski J., Bouchez A. , 2018. SYNAQUA: a French-Swiss program for biomonitoring and preservation of Lake Geneva ecosystems. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Kahlert M., Bouchez A., Kelly M., Mann D.G., Rimet F., 2018. Unravelling the relation of the morphological species concept to the molecular one in the genus *Fragilaria*. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Tapolczai K., Vasselon V., Bouchez A., Stenger-Kovacs C., Padišak J., Rimet F., 2018. The significance of OTU sequence similarity threshold as a proxy for taxonomic resolution in diatom-based bioassessment: a case study on the rivers of Mayotte (France, Indian Ocean). 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Varbiro G., Bouchez A., Rimet F., Tapolczai K., Novais M.H., Morais M.M., Usseglio-Polatera P., Bacsı I., B-Beres V. (2018) Limiting similarity and environmental filtering under drought stress in streams, a case study on diatoms. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (poster)

Vasselon V., Rivera S., Domaizon I., Rimet F., Bouchez A. (2018) Freshwater quality assessment using diatom DNA metabarcoding: progress and prospects in French river monitoring networks. 25th International Diatom Symposium, Berlin (Germany), 25–30 June 2018 (communication)

Rimet F. & Bouchez A., 2018. Diatomées benthiques du littoral des lacs: quels avantages pour l'évaluation écologique? Colloque de l'Association Française de Limnologie. 22-23 novembre 2018. Communication.

Vasselon V., Rivera S., Domaizon I., Rimet F., Bouchez A. (2018) Freshwater quality assessment using diatom DNA metabarcoding :Progress and prospects in the frame of French rivers monitoring networks. SFS Annual Meeting, Detroit, Michigan (USA), 20-24 May 2018 (communication)

Baricevic A., Cécile C., Maric-Pfannkuchen D., Natasa K., Valentin V., Smodlaka-Tankovic M., Rimet F., Bouchez A., Pfannkuchen M., 2018. HAB species of the northern Adriatic (Mediterranean Sea) recorded using metabarcoding. 18th International Conference on Harmful Algae (ICHA 2018), 21-26 october 2018, Nantes. Communication.

Bouchez A., Cordonier A., Domaizon I., Ferrari BJD., Jacquet S., Lefrançois E., Mazenq A.L., Pawlowska A., Perret-Gentil L., Rimet F., Rubin J.F., Servoli E., Trevisan D., Vivien R., Pawlowski J. (2017) SYNAQUA: A French-Swiss program to modernize the environmental biomonitoring of Lake Geneva and transboundary rivers. COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (poster)

Rimet F., Vasselon V., Tapolczai K., Bouchez A. (2017) R-Syst::diatom, a reference library for diatoms: overview, uses and perspectives. COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (communication)

Vasselon V., Domaizon I., Rimet F., Tapolczai K., Bouchez A. (2017) Optimization of diatom DNA metabarcoding: application to Mayotte streams monitoring network. COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (communication)

Vasselon V., Bouchez A., Corniquel M., Jacquet S., Rimet F., Tapolczai K., Domaizon I. (2017) Quantitative diatom metabarcoding: a correction factor inferred from cell biovolume. COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (poster)

Franc A., Frigerio J.M., Chaumeil P., Chancerel E., Salin F., Bouchez A., Rimet F., KAHLERT M. (2017) Connecting metabarcoding with High Performance Computing: towards more accurate molecular based inventories. COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (communication)

Bouchez A., Franc A., Blancher P., Chaumeil P., Frigerio J.M., Keck F., Kermarrec L., Monnier O., Reyjol Y., Salin F., Tapolczai K., Vasselon V., Rimet F. (2017) Diatom DNA metabarcoding & WFD: where are we ? COST DNAqua-net kick-off meeting, Essen (Germany) March 7-8 2017 (communication)

Bouchez A., Kermarrec L., Reyjol Y., Tapolczai K., Vasselon V., Rimet F. (2017) On the way to implementation of ecogenomic indices for river biomonitoring: a French progress report for diatoms. 10th Symposium for European Freshwater Sciences, Olomouc (Check Republic), July 3-7 2017 (communication)

Tapolczai K., Bouchez A., Stenger-Kovacs C., Padisak J., Vasselon V., Rimet F. (2017) Diatom-based ecological assessment on the rivers of the tropical island, Mayotte (France), using different approaches. 10th Symposium for European Freshwater Sciences, Olomouc (Check Republic), July 3-7 2017 (communication)

Bouchez A., Cordonier A., Domaizon I., Ferrari B.J.D., Jacquet S., Lefrançois E., Mazon A.L., Pawlowska A., Perret-Gentil L., Rimet F., Rubin J.F., Servoli E., Trevisan D., Vivien R., Pawlowski J. (2017) SYNAQUA: A French-Swiss program to modernize the environmental biomonitoring of Lake Geneva and transboundary rivers. 10th Symposium for European Freshwater Sciences, Olomouc (Check Republic), July 3-7 2017 (poster)

Rosa Trobajo, David G. Mann, Chunlian Li, Shinya Sato, Frederic Rimet, Laia Rovira, Andrzej Witkowski, 2017. A four-gene approach to the Bacillariaceae: establishing a framework for classifying a highly diverse and taxonomically difficult diatom group. International Phycological Congress IPC11, August 13-19, 2017, Szczecin, Poland. Communication.

Kociolek, J.P., Balasubramanian, K., Blanco, S., Coste, M., Ector, L., Liu, Y., Kulikovskiy, M., Lundholm, N., Ludwig, T., Potapova, M., Rimet, F., Sabbe, K., Sala, S., Sar, E., Taylor, J., Van De Vijver, B., Wetzel, C., Williams, D.M., Witkowski, A., & Witkowski, J., Vandepitte, L., Decock, Wim, & Vanhoorne, B, 2017. Catalogue of diatom names resurrected: Diatombase will be the new authority resource for diatom names and more. 11th Central European Diatom (11th CED) meeting, 22 – 25 March 2017 in Prague, Czech Republic. Communication.

Rimet Frédéric, Vasselon Valentin, Chardon Cécile & Bouchez Agnès, 2017. Bioindication diatomées : Comparaison microscopie / metabarcoding ADN sur les rivières de France métropolitaine. Colloque de l'Adlaf, Dijon, septembre 2017. Communication.

Keck François, Bouchez Agnès, Rimet Frédéric, Alain Franc. 2017. Évaluation des liens entre phylogénie et traits écologiques chez les diatomées : pistes d'utilisation pour la bioindication des milieux aquatiques. Colloque de l'Adlaf, Dijon, septembre 2017. Communication.

Kálmán Tapolczai, Agnès Bouchez, Valentin Vasselon, François Keck, Csilla Stenger-Kovacs, Judit Padisak & Frédéric Rimet (2016) L'évaluation de la qualité des cours d'eau de Mayotte basé sur un indice classique et un indice multimétrique. 35e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Belvaux, Luxembourg, 13-15 september 2016. Communication.

Rimet F., Vasselon V., Keck F., Chardon C., Tapolczai K., Piuze A., Bouchez A. (2016) Bases de référence de barcodes-ADN diatomées : comment les compléter rapidement à faible coût ? 35e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Belvaux, Luxembourg, 13-15 septembre 2016. Communication.

Abonyi-Keszte Barbara, Vasselon Valentin, Feret Léa, Jacas Louis, Birck Carole, Bouchez Agnès, Rimet Frédéric (2016) Lacs Alpains d'altitude : comparaison des approches microscopie et barcoding ADN. 35e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Belvaux, Luxembourg, 13-15 septembre 2016. Communication.

Rivera Sinziana F, Ariztegui Daniel, Frossard Victor, Vasselon Valentin, Jacquet Stéphane, Bouchez Agnès, Rimet Frédéric (2016) Evaluation de la qualité environnementale du lac du Bourget : Une comparaison entre les approches de microscopie et de barcoding. 35e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Belvaux, Luxembourg, 13-15 septembre 2016. Communication.

Kálmán Tapolczai, Agnès Bouchez, Valentin Vasselon, François Keck, Csilla Stenger-Kovács, Judit Padišák & Frédéric Rimet (2016) Species- and trait-based quality evaluation methods for the rivers of Mayotte (France, Southeast Africa). Central European Diatom meeting, Budapest, Hungary, 20-23 April 2016. Communication.

Rimet F., Vasselon V., Keck F., Chardon C., Tapolczai K., Piuze A., Bouchez A. (2016) Diatom DNA-barcoding databases: how to fill them quickly at low cost? Central European Diatom meeting, Budapest, Hungary, 20-23 April 2016. Communication.

Frigerio, Bouchez, Chaumeil, Kahlert, Rimet, Salin, Théron, Franc (2016) Picome : Un workflow de production d'inventaire de communautés en metabarcoding : méthodes exactes et utilisation du calcul HTC. Journées Ouvertes en Biologie, Informatique et Mathématiques (JOBIM), Lyon (ENS), France, 28 - 30 juin 2016. Communication.

Agnès BOUCHEZ, Matthieu HOYOIS, Anna-Chiara EANDI, Frédéric RIMET, Nathalie CHEVRE (2016). Evaluation des effets et du risque environnemental de 5 médicaments sur les microalgues d'eau douce. FORUM ECO-TOX de Rovaltain, France - 11 au 13 octobre 2016. Communication.

Chonova T., Labanowski J., Chardon C., Keck F., Mondamert L., Montuelle B., Rimet F., Vasselon V., Bouchez A. (2016) Biofilm communities in river impacted by pharmaceutical loads from a wastewater treatment plant. FORUM ECO-TOX de Rovaltain, France - 11 au 13 octobre 2016. Communication.

Keck F., Larras F., Esteves S., Montuelle B., Rimet F., Bouchez A. (2016) Linking diatom sensitivity to herbicide to phylogeny. SETAC Europe 26th Annual Meeting, Nantes, France, 22-26 May 2016. Communication.

Chonova T., Chardon C., Keck F., Labanowski J., Laurent E., Mondamert L., Montuelle B., Rimet F., Vasselon V., Bouchez A. (2016) Next-Generation Sequencing to highlight community changes in river biofilms linked to pharmaceutical loads from a wastewater treatment plant. SETAC Europe 26th Annual Meeting, Nantes, France, 22-26 May 2016. Communication.

Victor Frossard, Frédéric Rimet and Marie-Elodie Perga (2016) Identifying causal relationships using Convergent Cross Mapping in long-term ecological time series of peri-alpine lakes. International conference on ecological sciences, SFE 2016, Marseille, France, 24-28 octobre 2016. Communication.

Vasselon V., Domaizon I., Kahlert M., Rimet F., Bouchez A. (2016) Towards standardization of DNA extraction for next-generation biomonitoring with diatoms. Symposium on Freshwater Sciences, USA, 2016. Communication.

Bouchez A., Chardon C., Keck F., Montuelle B., Rimet F., Tapolczai K., Vasselon V. (2016) Metabarcoding and HTS for assessing river ecological quality with diatom indices at the scale of a regular monitoring network. Symposium on Freshwater Sciences, USA, 2016. Communication.

Chonova T., Chardon C., Keck F., Labanowski J., Mondamert L., Montuelle B., Rimet F., Vasselon V., Bouchez A. (2016) NGS to highlight community changes in river biofilms linked to pharmaceutical loads from a wastewater treatment plant. Symposium on Freshwater Sciences, USA, 2016. Communication.

Keck F., Rimet F., Franc A., Bouchez A. (2015) Developing phylogenetically based biomonitoring methods: a test with diatoms. Cantonati M., Kelly M.G., Rott E., Sabater S., Stevenson J.R., Whitton B.A., Schneider S., Shubert L.E., Van de Vijver B., Vis M.L., Angeli N. 2015. Abstract Book of the international congress 9th Use of Algae for Monitoring Rivers and comparable habitats (9th UAMRICH), and of the International Workshop on Benthic Algae Taxonomy (InBAT). Museo delle Scienze - MUSE. Trento, Italy, June 15-19 2015. 111 pp. ISBN 978-88-531-0037-5. p50 (communication)

Franc A., Rimet F., Chaumeil P., Frigerio J.M., Laizet Y., KECK F., VASSELON V. KAHLERT M., Bouchez A., (2015) A pipeline for building molecular based inventories and computing diversity indices of communities. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland), July 5-10 2015 (communication)

Keck F., Rimet F., Franc A., Bouchez A. (2015) Developing phylogenetically based biomonitoring methods: a test with diatoms. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland), July 5-10 2015 (communication)

CHONOVA T., KECK F., LABANOWSKI J., MONTUELLE B., RIMET F., BOUCHEZ A. (2015) Fluctuations in periphyton community composition and biomass due to pharmaceutical compounds and environmental factors. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland) July 5-10 2015 (communication)

LARRAS F., RIMET F., KECK F., BOUCHEZ A., MONTUELLE B. (2015) Taking into account of environmental factors to improve toxic risk assessment based on Species Sensitivity Distribution (SSD) model (diatoms and natural biofilms). Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland) July 5-10 2015 (communication)

Esteves S.M., Keck F., ALMEIDA S., FIGUEIRA E., Bouchez A., MONTUELLE B., Rimet F. (2015) Intraspecific Variability of *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith to toxic substances. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland) July 5-10 2015 (communication)

VASSELON V., RIMET F., SALIN F., FRANC A., BOUCHEZ A. (2015) Temporal evolution of benthic diatom community in Lake Geneva using Next-Generation Sequencing approach. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland) July 5-10 2015 (communication)

Rimet F., Chaumeil P., Frigerio J.M., KECK F., VASSELON V., Franc A., Bouchez A. (2015) R-Syst::diatom: An open-access and curated barcode database for diatoms. Symposium for European Freshwater Sciences 2015 « Freshwater sciences coming home ». Geneva (Switzerland) July 5-10 2015 (communication)

KAHLERT M., Bouchez A., Chaumeil P., Franc A., Frigerio J.M., Rimet F., VASSELON V. (2015) Gaps to fill when analyzing freshwater diatom diversity with DNA barcoding – notes from a boreal region. 6th European Phycological Congress (EPC6). London (UK) August 23-28 2015 (communication)

Rimet F., Bouchez A., KECK F., VASSELON V., Frigerio J.M., Chaumeil P., Franc A. (2015) Use of metabarcoding for water quality assessment using diatoms. Dutch-Flemish Society of Diatomists (NVKD) meeting. Mont Rigi (Belgique), 4-6 juin 2015. (communication invitée)

Rimet F., Bouchez A., Franc A. (2015) Diatom barcoding for biomonitoring. 9th Central European Diatom Meeting, Bremerhaven (Germany), 10-13. March 2015. (communication invitée)

RIMET F., Chaumeil P., Frigerio J.M., TAPOLCZAI K., KECK F., VASSELON V., Franc A., BOUCHEZ A. (2015) Potential of diatom metabarcoding and phylogeny for ecological assessment. Cantonati M., Kelly M.G., Rott E., Sabater S., Stevenson J.R., Whitton B.A., Schneider S., Shubert L.E., Van de Vijver B., Vis M.L., Angeli N. 2015. Abstract Book of the international congress 9th Use of Algae for Monitoring Rivers and comparable habitats (9th UAMRICH), and of the International Workshop on Benthic Algae Taxonomy (InBAT). Museo delle Scienze - MUSE. Trento, Italy, June 15-19 2015. 111 pp. ISBN 978-88-531-0037-5, p 49 (communication invitée)

TAPOLCZAI, K., BOUCHEZ A., RIMET F., STENGER-KOVÁCS, C., PADISÁK J. (2015) Les premières étapes sur l'analyse de cours d'eaux de Mayotte. 34ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Bordeaux (France), 7 - 10 septembre 2015 (communication)

FERET L., BOUCHEZ A., DAMBRINE E., BIRCK C., RIMET F. (2015) Communautés de diatomées benthiques des lacs d'altitude : biodiversité et ses principaux facteurs structurants. 34ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Bordeaux (France), 7 - 10 septembre 2015 (poster)

BOUCHEZ A., Rimet F., Chaumeil P., Frigerio J.M., KECK F., TAPOLCZAI K., VASSELON V., Franc A., (2015) Potentiel du metabarcoding et de la phylogénie des diatomées pour la bioindication. 34ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Bordeaux (France), 7 - 10 septembre 2015 (communication)

Rimet Frédéric, Montuelle Bernard & Bouchez Agnès, 2014. Quel est le mieux pour la surveillance des lacs : le phytoplancton ou les diatomées benthiques? 33ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Clermont-Ferrand (France), septembre 2014 (communication).

Larras Floriane, Montuelle Bernard, Rimet Frédéric, Chèvre Nathalie & Bouchez Agnès, 2014. Changement saisonnier de la sensibilité du microphytobenthos aux herbicides : impact sur le potentiel protecteur de seuils dérivés des courbes de distribution de sensibilité des espèces. 33ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Clermont-Ferrand (France), septembre 2014 (communication).

Esteves Sara M., Keck François, Ameida Salomé F.P., Figueira Etelvina, Bouchez Agnès & Rimet Frédéric, 2014. Variabilité intraspécifique de la tolérance aux toxiques appliquée à *Nitzschia palea*. 33ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF), Clermont-Ferrand (France), septembre 2014 (communication).

MONTUELLE Bernard, LARRAS Floriane, BOUCHEZ Agnès, RIMET Frédéric 2013. Modélisation de la Distribution de Sensibilité des Espèces (SSD) pour évaluer le risque environnemental lié aux pesticides en milieu aquatique. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

BAILLOT Sonia, RIMET Frédéric, 2013. Utilisation des groupes morpho-fonctionnels du phytoplancton pour le diagnostic écologique des plans d'eau du bassin Loire-Bretagne : focus sur les diatomées. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

TROBAJO Rosa, MANN David G., ROVIRA Laia, RIMET Frédéric, KERMARREC Lenaïg, 2013. *Nitzschia*: a complex variation pattern has a complex explanation. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

KECK François, RIMET Frédéric, BOUCHEZ Agnès, 2013. Linking diatoms pollution-sensitivity to phylogeny: New perspectives for aquatic ecosystems bioassessment. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

RIMET Frédéric, TROBAJO Rosa, MANN David G., KERMARREC Lenaig, FRANC Alain, DOMAIZON Isabelle, BOUCHEZ Agnès. 2013. Cryptic diversity in diatom species: case study of a good water quality indicator, *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

BOUCHEZ Agnès, RIMET Frédéric, LE BERRE Brigitte, GERGORI Gerald, BRESSY Christine, BRIAND Jean-François, 2013. Marine biofilm communities colonizing antifouling paints. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

BERTHON Vincent, ALRIC Benjamin, RIMET Frédéric, JENNY Jean-Philippe, PIGNOL Cécile, PERGA Marie-Elodie, 2013. Magnitude and specific responses of diatoms to climate warming versus local stressors in anthropogenized lakes. 32e colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 september 2013. Communication.

L. Kermarrec, F. Rimet, A. Franc, Ph. Chaumeil & A. Bouchez, 2012. New biomonitoring approaches based on next generation sequencing: a test for freshwater diatom communities. International Diatom Symposium, 26-31 august, University of Ghent. Communication.

A. Bouchez, F. Larras, F. Rimet & B. Montuelle, 2012. Use of « species sensitivity distribution » for herbicides toxicity assessment on benthic diatom assemblages. International Diatom Symposium, 26-31 august, University of Ghent. Communication.

A. Franc, Ph. Chaumeil, J.-M. Frigerio, L. Kermarrec, F. Rimet, & A. Bouchez, 2011. Diversité in vivo, Multi-coeurs in silico : relier métagénomique et taxonomie moléculaire. Masses de données et calculs intensifs, journée INRA-INRIA, 7 octobre 2011, Siège de l'INRA - 147 rue de l'Université - Paris 7. Communication.

Berthon V., Rimet F., & Perga M.E., 2011. Reconstruction de l'impact des perturbations anthropiques sur les communautés planctoniques de Diatomées dans les grands lacs sub-alpins au cours des 150 dernières années. Livre des résumés du 30ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Boulogne/Mer, 6-8 septembre 2011, p. 64. Communication.

Rimet F. & Bouchez A., 2011. Résolution taxonomique pour les diatomées de rivières : impact structurant de paramètres environnementaux et implications pour le biomonitoring. Livre des résumés du 30ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Boulogne/Mer, 6-8 septembre 2011, p. 30.

Marcel R., Bouchez A. & Bouchez A., 2011. Etude de la diversité taxonomique des diatomées dans le but d'évaluer la contamination par les herbicides. Livre des résumés du 30ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Boulogne/Mer, 6-8 septembre 2011, p. 47. Communication.

Kermarrec L., Rimet F., Franc A., Chaumeil P., Humbert J-F. & Bouchez A., 2011. Séquençage nouvelle génération pour déterminer les communautés de diatomées : comparaison de trois marqueurs moléculaires. Livre des résumés du 30ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, Boulogne/Mer, 6-8 septembre 2011, p. 51. Communication.

Kermarrec L., Rimet F. & Bouchez A., 2010. Genetic diversity within the *Gomphonema parvulum* complex. Book of abstracts of the 21th International Diatom Symposium, 29 aout-3 sept 2010, Saint-Paul, USA, p 30. Communication.

Kermarrec L., Rimet F. & Bouchez A., 2010. Etude de la diversité génétique au sein du complexe d'espèce *Gomphonema parvulum*. Livre des résumés du 29ème colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française, 7-10 sept 2010, Québec, Canada, p 54. Communication.

Berthon V., Rimet F. and Bouchez A., 2010. Intérêt de différents traits biologiques des diatomées pour l'évaluation des niveaux de saprobie et de trophie en rivières. Book of abstracts of the Journées Internationales de Limnologie, Thonon, France, 5-8 october 2010, p 43. Communication.

Rimet F. and Bouchez A., 2010. Taxonomic resolution of river diatoms: structuring impact of environmental parameters and implications for biomonitoring. Book of abstracts of the Journées Internationales de Limnologie, Thonon, France, 5-8 october 2010, p 35. Communication.

Rimet F. and Bouchez A., 2010. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches. Book of abstracts of the 4th CE-Diatom Meeting, Reichenau Germany, 12-14 march 2010, p 39. Communication.

Berthon V., Rimet F. and Bouchez A., 2010. Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic and nutrient concentrations in rivers: a case study in rivers in south-eastern France. Book of abstracts of the 4th CE-Diatom Meeting, Reichenau Germany, 12-14 march 2010, p 7. Communication.

Berthon V., Rimet F. & Bouchez A., 2010. Intérêt de différents traits biologiques des diatomées pour l'évaluation des niveaux de saprobie et de trophie en rivières. Livre des résumés des Journées Internationales de Limnologie, Thonon, France, 5-8 oct 2010, p 43. Communication.

Rimet F. & Bouchez A., 2010. Taxonomic resolution of river diatoms: structuring impact of environmental parameters and implications for biomonitoring. Livre des résumés des Journées Internationales de Limnologie, Thonon, France, 5-8 oct 2010, p 35. Communication.

Rimet F. & Bouchez A., 2010. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches. Abstract book of the Central European Diatom Meeting, Reichenau, Germany, 12-14 march 2010, p 7. Communication.

Berthon V., Rimet F. & Bouchez A., 2010. Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic and nutrient concentrations in rivers : a case study in rivers in south-eastern France. Abstract book of the Central European Diatom Meeting, Reichenau, Germany, 12-14 march 2010, p 7. Communication.

Rimet F., Couté A., Piuze A., Berthon V. & Druart J.C., 2009. Un nouvel *Achnanthes* pour la France : morphologie, dynamique de sa distribution et écologie. Livre des résumés du 28ème colloque de l'Association des Diatomistes de langue Française, Banyuls/Mer, 7-10 sept 2009, p 36. Communication.

Berthon V., Bouchez A. & Rimet F., 2009. Intérêt de différents traits biologiques des diatomées pour l'évaluation des niveaux de saprobie et de trophie en rivières. Livre des résumés du 28ème colloque de l'Association des Diatomistes de langue Française, Banyuls/Mer, 7-10 sept 2009, p 60. Communication.

Rimet F., Dorigo U., Berthon V. & Bouchez A., 2009. Impact des pesticides sur les formes de vie des diatomées en rivières : premiers résultats. Livre des résumés du 28ème colloque de l'Association des Diatomistes de langue Française, Banyuls/Mer, 7-10 sept 2009, p 69. Communication.

Rimet F. & Druart J.C., 2008. Dynamics of pelagic diatoms in lake Geneva from 1974 to 2007. Abstract book of the 20th International Diatom Symposium, 7-13 sept 2008, Dubrovnik, Croatia, p 46. Communication.

Druart J.C. & Rimet F. 2008. Dynamique du peuplement des diatomées pélagiques du Léman de 1974 à 2007. Livre des résumé du 7ème Congrès International de Limnologie-Océanographie, 14-16 oct 2008, Rouen, p 30. Communication.

4.3. Communication sur invitation

Rimet F., Bouchez A., Domaizon I., Rivera S., Vautier M., Vasselon V., 2019. Utilisation de l'ADNe pour la bioindication – Etat des lieux, protocoles. Journée technique : les outils ADNe appliqués à la surveillance de l'état et de la biodiversité des milieux aquatiques. 23 octobre 2019. Afnor, Paris.

Rimet F., Ashworth M., 2018. Curation of molecular reference libraries. Round table convener. International Diatom Symposium, Berlin 25-30 June 2018. Berlin Botanical Garden.

Rimet F., 2018. DNA metabarcoding for diatom biomonitoring. Luxembourg, 05 April 2018. Stakeholder meeting on DNA-based aquatic biomonitoring. DNAqua-net Cost network.

Rimet F., 2016. R-Syst::Diatom, an open-access and curated barcode database for diatoms and freshwater biomonitoring. Frei Universität Berlin, Blütensaal des Botanischen Museums, Königin-Luise-Str. 6-8, 14195 Berlin, 22 Jan. 2016.

Rimet F., Bouchez A., Keck F., Vasselon V., Frigerio J.M., Chaumeil P., Kahlert M. & Franc A. 2015. Utilisation du métabarcoding pour l'évaluation de la qualité des eaux douces à l'aide des communautés de diatomées (micro-algues bioindicatrices). Colloque INRA R-Syst / Muséum National d'Histoire Naturelle : Taxonomie Intégrative: De la génomique aux collections du 12 au 14 octobre 2015, INRA Versailles-Grignon RD 10, 78000 Versailles, France.

Rimet F., Bouchez A., Keck F., Vasselon V., Frigerio J.M., Chaumeil P. & Franc A., 2015. Potential of diatom metabarcoding and phylogeny for biomonitoring. 9th Use of Algae for monitoring rivers, Trento, Italy, 15-17 June 2015.

Rimet F., Bouchez A., Keck F., Vasselon V., Frigerio J.M., Chaumeil P. & Franc A., 2015. Use of metabarcoding for water quality assessment using diatoms. Nederlands-Vlaamse Kring Van Diatomisten, Mont Rigi, Station Scientifique des Hautes-Fagnes, Belgium, 5 June 2015.

Rimet F., Franc A., Chaumeil P., Frigerio J.M., Keck F., Vasselon V. & Bouchez A., 2015. From collections to metagenomic: use of metabarcoding for diatom biomonitoring. 9th Ce-Diatom, Bremerhaven, Germany, 10-13 March 2015.

4.4. Ouvrages, chapitres d'ouvrages

Bouchez A., Rimet F., Domaizon I. (2017) Pollutions organiques et nutritives des cours d'eau révélées par les diatomées : complémentarité du metabarcoding et des approches traditionnelles. In La microbiologie moléculaire au service du diagnostic environnemental. ADEME, P Cuny, PA Maron, L Ranjard, éditeurs. P 64-65.

Jacquet S., Anneville O., Domaizon I., Rimet F., 2015. Y a-t-il des organismes microscopiques dans les lacs ? In Montuelle B. Clemens A. (Eds), Le tour des grands lacs alpins naturels en 80 questions. Graie editions. ISBN. 978-2-917199-04-6. p 34-35.

Jacquet S., Rimet F., Druart J.C., 2014. Composition and dynamics of phytoplanktonic communities in 3 large and deep western European lakes: an outline of the evolution from 2004 to 2012. In Sebastia M.T. (ed), Phytoplankton, biology, classification and environmental impacts. Nova Science Publishers, Inc. ISBN. 978-1-62948-652-9. p131-149.

Rimet Frédéric, Bouchez Agnès, Ector Luc & Montuelle Bernard (Eds.) 2013. 32ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française & 7th Central European Diatom Meeting, Thonon-les-Bains, France, 16-20 September 2013. Abstracts. 265 p.

Reyjol Y., Ximenes, Bouchez A., Caquet T., Rimet F., Roucaute M. 2013. Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Perspectives en vue du 2e cycle DCE – Eaux de surface continentales. In Reyjol Y., Spyrtatos V., Basilico L. Coll. Les Rencontres de l'ONEMA, 56p

Rimet F., Ector L., Hoffmann L., Gevrey M., Giraudel J.L., Park Y.S. & Lek S., 2005. Prediction with artificial neural networks of diatom assemblages in headwater streams of Luxembourg. In Lek S., Scardi M., Verdonshot P.F.M., Descy J.-P., Park Y.S. (eds), Modelling community structure in aquatic ecosystems. Springer Verlag, 343-354.

Rimet F., Cauchie H.M., Tudesque L. & Ector L., 2005. Use of artificial intelligence (MIR-max) and chemical index to define type diatom assemblages in Rhône basin and Mediterranean region. In Lek S., Scardi M., Verdonshot P.F.M., Descy J.-P., Park Y.S. (eds), Modelling community structure in aquatic ecosystems. Springer Verlag, 288-303.

Gosselain V., Campeau S., Gevrey M., Coste M., Ector L., Rimet F., Tison J., Delmas F., Park Y.S., Lek S. & Descy J.P., 2005. 5.6 Diatom typology of low-impacted conditions at a multi-regional scale: combined results of multivariate analyses and SOM. In Lek S., Scardi M., Verdonshot P.F.M., Descy J.-P., Park Y.S. (eds), Modelling community structure in aquatic ecosystems. Springer Verlag, 317-342.

Di Dato P., Rimet F., Tudesque L., Ector L. & Scardi M., 2005. Use of neural network models to predict diatom assemblages in the Loire-Bretagne basin (France). In Lek S., Scardi M., Verdonshot P.F.M., Descy J.-P., Park Y.S. (eds), Modelling community structure in aquatic ecosystems. Springer Verlag, 355-365.

Ector L. & Rimet F.(eds), 2005. Using bioindicators to assess rivers in Europe: An overview. In Lek S., Scardi M., Verdonshot P.F.M., Descy J.-P., Park Y.S. (eds), Modelling community structure in aquatic ecosystems. Springer Verlag, 7-19.

Ector L., Kingston J.C., Charles D.F., Denys L., Douglas M.S.V., Manoylov K., Michelutti N., Rimet F., Smol J.P., Stevenson R.J. & Winter J.G., 2004. Workshop report Freshwater diatoms and their role as ecological indicators. In Poulin M. (ed.) Proceedings of the 17th International Diatom Symposium 2002, Ottawa, Canada, Biopress Limited, Bristol, 469-480.

5. Références

- Abarca, N., Jahn, R., Zimmermann, J., Enke, N., 2014. Does the Cosmopolitan Diatom *Gomphonema parvulum* (Kutzing) Kutzing Have a Biogeography? PLoS ONE 9, 1–18.
- Agapow, P., Bininda-Emonds, O.R.P., Crandall, K.A., Gittleman, J.L., Mace, G.M., Marshall, J.C., Purvis, A., 2004. The Impact of Species Concept on Biodiversity Studies. The Quarterly Review of Biology 79, 161–179. <https://doi.org/10.1086/383542>
- Baas-Becking, L.G.M., 1934. Geobiologie of inleiding tot de milieukunde, W.P. Van Stockum&Zoon. ed. The Hague, the Netherlands.
- Battin, T.J., Besemer, K., Bengtsson, M.M., Romani, A.M., Packmann, A.I., 2016. The ecology and biogeochemistry of stream biofilms. Nat. Rev. Microbiol. 14, 251–263. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.15>
- Bengtsson, M.M., Wagner, K., Schwab, C., Urich, T., Battin, T.J., 2018. Light availability impacts structure and function of phototrophic stream biofilms across domains and trophic levels. Molecular Ecology 27, 2913–2925. <https://doi.org/10.1111/mec.14696>
- Bennett, J.R., Cumming, B.F., Ginn, B.K., Smol, J.P., 2010. Broad-scale environmental response and niche conservatism in lacustrine diatom communities. Global Ecology and Biogeography 19, 724–732. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00548.x>
- Bérard, A., Rimet, F., Capowiez, Y., Leboulanger, C., 2004. Procedures for Determining the Pesticide Sensitivity of Indigenous Soil Algae: A Possible Bioindicator of Soil Contamination? Arch. Environ. Contam. Toxicol. 46, 24–31.
- Berthon, V., Bouchez, A., Rimet, F., 2011. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pollution in rivers: case study of south-eastern french rivers. Hydrobiologia 673, 259–271.
- Besse-Lototskaya, A., Verdonchot, P.F.M., Coste, M., Van de Vijver, B., 2011. Evaluation of European diatom trophic indices. Ecological Indicators 11, 456–467.
- Beszteri, B., John, U., Medlin, L.K., 2007. An assessment of cryptic genetic diversity within the *Cyclotella meneghiniana* species complex (Bacillariophyta) based on nuclear and plastid genes, and amplified fragment length polymorphisms. European Journal of Phycology 42, 47–60.
- Bolgovics, Á., Ács, É., Várbió, G., Görgényi, J., Borics, G., 2016. Species area relationship (SAR) for benthic diatoms: a study on aquatic islands. Hydrobiologia 764, 91–102. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2278-1>
- Bottin, M., Soininen, J., Ferréol, M., Tison-Rosebery, J., 2014. Do spatial patterns of benthic diatom assemblages vary across regions and years? Freshwater science 33, 402–416. <https://doi.org/10.1086/675726>
- Bourrelly, P., Manguin, E., 1952. Algues d'eau douce de la Guadeloupe et dépendances recueillies par la mission P. Allorges en 1936. Paris, France.
- Brun, J., 1880. Diatomées des Alpes et du Jura et de la région Suisse et Française des environs de Genève. A. Asher and Co, Amsterdam.
- Buchwalter, D.B., Cain, D.J., Martin, C.A., Xie, L., Luoma, S.N., Garland, T., 2008. Aquatic insect ecophysiological traits reveal phylogenetically based differences in dissolved cadmium susceptibility. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105, 8321–8326.
- Cantonati, M., Lowe, R.L., 2014. Lake benthic algae: toward an understanding of their ecology. Freshwater Science 33, 475–486.
- Carter, J.L., Resh, V.H., 2001. After site selection and before data analysis: sampling, sorting, and laboratory procedures used in stream benthic macroinvertebrate monitoring programs by U.S.A. state agencies. J.N.Am.Benthol.Soc. 20, 658–682.
- Carvalho, P., Diniz-Filho, J.A.F., Bini, L.M., 2005. The impact of Felsenstein's "Phylogenies and the comparative method" on evolutionary biology. Scientometrics 62, 53–66. <https://doi.org/10.1007/s11192-005-0003-y>

- Casteleyn, G., Leliaert, F., Backeljau, T., Debeer, A.E., Kotaki, Y., Rhodes, L., Lundholm, N., Sabbe, K., Vyverman, W., 2010. Limits to gene flow in a cosmopolitan marine planktonic diatom. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 12952–12957.
- Cemagref, 1982. Etude des methodes biologiques quantitative d'appréciation de la qualite des eaux.
- Cermeño, P., Falkowski, P.G., 2009. Controls on Diatom Biogeography in the Ocean | *Science*. *Science* 325, 1539–1541. <https://doi.org/DOI: 10.1126/science.1174159>
- Chiari, Y., Glaberman, S., Serén, N., Carretero, M.A., Capellini, I., 2015. Phylogenetic signal in amphibian sensitivity to copper sulfate relative to experimental temperature. *Ecological Applications* 25, 596–602. <https://doi.org/10.1890/14-0439.1>
- Coiffait-Gombault, C., 2011. Règles d'assemblages et restauration écologique des communautés végétales herbacées méditerranéennes : le cas de la Plaine de La Crau (Bouches-du-Rhône, France). Université d'Avignon, France.
- Coste, M., 1978. Sur l'utilisation des diatomées benthiques pour l'appréciation de la qualité biologique des eaux courantes. *Méthodologie comparée et approche typologique* (Thesis). Université de Franche-Comté, Besançon, France.
- Cox, E.J., 1996. Identification of Freshwater diatoms from living material. Alden Press, Osney Mead, Oxford, UK.
- Cranston, P.S., 1990. Biomonitoring and invertebrate taxonomy. *Environ Monit Assess* 14, 265–273.
- Crossetti, L.O., Stenger-Kovacs, C., Padisak, J., 2013. Coherence of phytoplankton and attached diatom-based ecological status assessment in Lake Balaton. *Hydrobiologia* 716, 87–101.
- Dayrat, B., 2005. Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society* 85, 407–415.
- de Candolle, A., 1806. *Details - Géographie botanique raisonnée; ou, Exposition des faits principaux et des lois concernant la distribution géographique des plantes de l'époque actuelle*, Paris, V. Masson. ed. Paris, France.
- Dengler, J., Chytrý, M., Ewald, J., 2008. Phytosociology, in: Jørgensen, S.E., Fath, B.D. (Eds.), *Encyclopedia of Ecology*. Academic Press, Oxford, pp. 2767–2779. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00533-4>
- Downes, B.J., Hindell, J.S., Bond, N.R., 2000. What's in a site? Variation in lotic macroinvertebrate density and diversity in a spatially replicated environment. *Australian Journal of Ecology* 25, 128–139.
- Ector, L., 2011. 1st European Workshop on Diatom Taxonomy (1st EWDT). *Algological Studies* 136/137, 1–4.
- Esteves, S.M., Keck, F., Almeida, S.F.P., Figueira, E., Bouchez, A., Rimet, F., 2017. Can we predict diatoms herbicide sensitivities with phylogeny? Influence of intraspecific and interspecific variability. *Ecotoxicology* 26, 1065–1077. <https://doi.org/10.1007/s10646-017-1834-z>
- Faessler, J., Hollmuller, P., Lachal, B.M., Viquerat, P.-A., 2012. Valorisation thermique des eaux profondes lacustres : le réseau genevois GLN et quelques considérations générales sur ces systèmes. *Archives des Sciences* 65, 215–228.
- Felsenstein, J., 1985. Phylogenies and the Comparative Method. *The American Naturalist* 125, 1–15. <https://doi.org/10.1086/284325>
- Feret, L., Bouchez, A., Rimet, F., 2017. Benthic diatom communities in high altitude lakes: a large scale study in the French Alps. *International Journal of Limnology* 53, 411–423.
- Finlay, B.J., Monaghan, E.B., Maberly, S.C., 2002. Hypothesis: The rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. *Protist* 153, 261–273.
- Gevrey, M., Rimet, F., Park, Y.S., Giraudel, J.L., Ector, L., Lek, S., 2004. Water quality assessment using diatom assemblages and advanced modelling techniques. *Freshwater Biology* 49, 208–220.
- Godfray, H.C.J., 2002. Challenges for taxonomy. *Nature* 417, 17–19. <https://doi.org/10.1038/417017a>
- Gould, S.J., Lewontin, R.C., Maynard Smith, J., Holliday, R., 1979. The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* 205, 581–598. <https://doi.org/10.1098/rspb.1979.0086>
- Guenard, G., Von der Ohe, P.C., de Zwart, D., Legendre, P., Lek, S., 2011. Using phylogenetic information to predict species tolerances to toxic chemicals. *Ecological Applications* 21, 3178–3190.

- Hamsher, S.E., Evans, K.M., Mann, D.G., Poulickova, A., Saunders, G.W., 2011. Barcoding Diatoms: Exploring Alternatives to COI-5P. *Protist* 162(3), 405–422.
- Harvey, P.H., Purvis, A., 1991. Comparative methods for explaining adaptations. *Nature* 351, 619–624.
- Hassall, C., Thompson, D.J., 2008. The effects of environmental warming on Odonata: a review. *Int. J. Odonatol.* 11, 131–153.
- He, F., Legendre, P., 1996. On Species-Area Relations. *The American Naturalist* 148, 719–737.
- Hebert, P., Cywinska, A., Ball, S.L., deWaard, J.R., 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 270, 313–321.
- Heino, J., Bini, L.M., Karjalainen, S.M., Mykka, H., Soininen, J., Vieira, L.C.G., Diniz-Filho, A.F., 2010. Geographical patterns of micro-organismal community structure: are diatoms ubiquitously distributed across boreal streams? *Oikos* 119, 129–137.
- Heino, J., Soininen, J., 2006. Regional occupancy in unicellular eukaryotes: a reflection of niche breadth, habitat availability or size-related dispersal capacity? *Freshwater Biology* 51, 672–685. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01520.x>
- Héribaud, J., 1893. Les Diatomées d’Auvergne, par le frère Héribaud Joseph. Pensionnat des Frères des écoles chrétiennes, Clermont-Ferrand,.
- Hof, C., Brändle, M., Dehling, D.M., Munguía, M., Brandl, R., Araújo, M.B., Rahbek, C., 2012. Habitat stability affects dispersal and the ability to track climate change. *Biology Letters* 8, 639–643. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2012.0023>
- Humboldt, A. von A. du texte, Bonpland, A. (1773-1858) A. du texte, 1805. Essai sur la géographie des plantes : accompagné d’un tableau physique des régions équinoxiales, fondé sur des mesures exécutées, depuis le dixième degré de latitude boréale jusqu’au dixième degré de latitude australe, pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803 ([Reprod.]) / par Al. de Humboldt et A. Bonpland ; préf. réd. par Al. de Humboldt.
- Hustedt, F., 1957. Die Diatomeenflora des Flusssystemes der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abhandlungen naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen* 34, 181–440.
- Hustedt, F., 1938. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 15, 131–177, 187–295, 393–506, 638–790, 16: 1-155, 274–394.
- INRA, 2019. SYNAQUA (Ref : 2369 / 2016-36) SYNérgie transfrontalière pour la bio-surveillance et la préservation des écosystèmes AQUatiques - LIVRABLE 39657 - WP4.1 : Cartographie de qualité des zones côtières du Léman. INRA - UMR Carrtel, Thonon, France.
- Jones, F.C., 2008. Taxonomic sufficiency: The influence of taxonomic resolution on freshwater bioassessments using benthic macroinvertebrates. *Environmental Reviews* 16, 45–69.
- Kahlert, M., Albert, R.L., Anttila, E.L., Bengtsson, R., Bigler, C., Eskola, T., Galman, V., Gottschalk, S., Herlitz, E., Jarlman, A., Kasperoviciene, J., Kokocinski, M., Luup, H., Miettinen, J., Paunksnyte, I., Piirsoo, K., Quintana, I., Raunio, J., Sandell, B., Simola, H., Sundberg, I., Vilbaste, S., Weckstrom, J., 2009. Harmonization is more important than experience-results of the first Nordic-Baltic diatom intercalibration exercise 2007 (stream monitoring). *Journal of Applied Phycology* 21, 471–482.
- Keck, F., 2019. Phylogeny matters: Applying the tools of ecophylogenetics to diatoms. [WWW Document]. Young ISDR - Early-career researchers and technicians group of the International Society of Diatom Research. URL <http://youngisdr.blogspot.com/2019/07/diatom-of-month-july-2019.html> (accessed 3.30.20).
- Keck, F., 2016. Evaluation des liens entre phylogénie et traits écologiques chez les diatomées : pistes d’utilisation pour la bioindication des milieux aquatiques. Université Grenoble Alpes.
- Keck, F., Bouchez, A., Franc, A., Rimet, F., 2016a. Linking phylogenetic similarity and pollution sensitivity to develop ecological assessment methods: a test with river diatoms. *Journal of Applied Ecology* 53, 856–864.
- Keck, F., Kahlert, M., 2019. Community phylogenetic structure reveals the imprint of dispersal-related dynamics and environmental filtering by nutrient availability in freshwater diatoms. *Sci Rep* 9, 11590. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48125-0>

- Keck, F., Rimet, F., Franc, A., Bouchez, A., 2016b. Phylogenetic signal in diatom ecology: perspectives for aquatic ecosystems biomonitoring. *Ecol. Appl.* 26, 861–872. <https://doi.org/10.1890/14-1966>
- Keck, F., Vasselon, V., Rimet, F., Bouchez, A., Kahlert, M., 2018. Boosting DNA metabarcoding for biomonitoring with phylogenetic estimation of operational taxonomic units' ecological profiles. *Molecular Ecology Resources* 0. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12919>
- Keck, F., Vasselon, V., Tapolczai, K., Rimet, F., Bouchez, A., 2017. Freshwater biomonitoring in the Information Age. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1–9.
- Keddy, P., 1992. Assembly and Response Rules - 2 Goals for Predictive Community Ecology. *J. Veg. Sci.* 3, 157–164. <https://doi.org/10.2307/3235676>
- Kelly, M., 2013. Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive.
- Kelly, M.G., Cazaubon, A., Coring, E., Dell'Uomo, A., Ector, L., Goldsmith, B., Guasch, H., Hurlimann, J., Jarlman, A., Kawecka, B., Kwadrans, J., Laugaste, R., Lindstrom, E.A., Leitao, M., Marvan, P., Padisak, J., Pipp, E., Prygiel, J., Rott, E., Sabater, S., Van Dam, H., Vizinet, J., 1998. Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology* 10, 215–224.
- Kelly, M.G., King, L., Jones, R.I., Barker, P.A., Jamieson, B.J., 2008. Validation of diatoms as proxies for phytobenthos when assessing ecological status in lakes. *Hydrobiologia* 610, 125–129.
- Kelly, M.G., Trobajo, R., Rovira, L., Mann, D.G., 2015. Characterizing the niches of two very similar *Nitzschia* species and implications for ecological assessment. *Diatom Research* 30, 27–33.
- Kembel, S.W., Cowan, P.D., Helmus, M.R., Cornwell, W.K., Morlon, H., Ackerly, D.D., Blomberg, S.P., Webb, C.O., 2010. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics* 26, 1463–1464. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq166>
- Kermarrec, L., Bouchez, A., Rimet, F., Humbert, J.F., 2012. First Evidence of the Existence of Semi-Cryptic Species and of a Phylogeographic Structure in the *Gomphonema parvulum* (Kutzing) Kutzing Complex (Bacillariophyta). *Protist* 164, 686–705.
- Kermarrec, L., Franc, A., Rimet, F., Chaumeil, P., Frigerio, J.M., Humbert, J.F., Bouchez, A., 2014. A next-generation sequencing approach to river biomonitoring using benthic diatoms. *Freshwater Science* 33, 349–363.
- Kermarrec, L., Franc, A., Rimet, F., Chaumeil, P., Humbert, J.F., Bouchez, A., 2013. Next-generation sequencing to inventory taxonomic diversity in eukaryotic communities: a test for freshwater diatoms. *Molecular Ecology Resources* 13, 607–619.
- Kernan, M., Ventura, M., Bitušík, P., Brancelj, A., Clarke, G., Velle, G., Raddum, G.G., Stuchlík, E., Catalan, J., 2009. Regionalisation of remote European mountain lake ecosystems according to their biota: environmental versus geographical patterns. *Freshwater Biology* 54, 2470–2493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02284.x>
- King, L., Clarke, G., Bennion, H., Kelly, M.G., Yallop, M.L., 2006. Recommendations for sampling littoral diatoms in lakes for ecological status assessments. *Journal of Applied Phycology* 18, 15–25.
- Kociolek, J.P., 2005. Taxonomy and ecology: further considerations. *Proceedings of the California Academy of Sciences* 56, 99–106.
- Kociolek, J.P., Balasubramanian, B., Blanco, S., Coste, M., Ector, L., Liu, Y., Kulikovskiy, M., Lundholm, N., Ludwig, T., Potapova, M., Rimet, F., Sabbe, K., Sala, S.E., Sar, E.A., Taylor, J.C., Van De Vijver, B., Wetzel, C.E., Williams, D.M., Witkowski, A., Witkowski, J., 2018. DiatomBase. website: www.diatombase.org.
- Kociolek, J.P., Kopalová, K., Hamsher, S.E., Kohler, T.J., Van de Vijver, B., Convey, P., McKnight, D.M., 2017. Freshwater diatom biogeography and the genus *Luticola*: an extreme case of endemism in Antarctica. *Polar Biol* 40, 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2090-7>
- Kolkwitz, R., Marson, M., 1908. Ökologie der pflanzliche Saprobien. *Berichte der Deutsche Botanische Gesellschaften* 26, 505–519.
- Krehenwinkel, H., Pomerantz, A., Prost, S., 2019. Genetic Biomonitoring and Biodiversity Assessment Using Portable Sequencing Technologies: Current Uses and Future Directions. *Genes* 10, 858. <https://doi.org/10.3390/genes10110858>

- Kulikovskiy, M., Lange-Bertalot, H., 2012. Lake Baikal: Hotspot of Endemic Diatoms. I., Lange-Bertalot H. ed, Iconographia Diatomologica. Koeltz Scientific Books, Germany.
- Kulikovskiy, M., Lange-Bertalot, H., Kuznetsova, I., 2015. Lake Baikal: Hotspot of Endemic Diatoms II, Lange-Bertalot H. ed, Iconographia Diatomologica. Koeltz Scientific Books, Germany.
- Kützing, F.T., 1844. Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Nordhausen: zu finden bei W.Kohne. ppls 1-30, 1–152.
- Lange-Bertalot, H., 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia* 64, 285–304.
- Larras, F., Keck, F., Montuelle, B., Rimet, F., Bouchez, A., 2014. Linking Diatom Sensitivity to Herbicides to Phylogeny: A Step Forward for Biomonitoring? *Environmental Science and Technology* 48, 1921–1930.
- Lester, S.E., Ruttenberg, B.I., Gaines, S.D., Kinlan, B.P., 2007. The relationship between dispersal ability and geographic range size. *Ecology Letters* 10, 745–758. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01070.x>
- Levkov, Z., Krstic, S., Metzeltin, D., Nakov, T., 2007. Diatoms of Lakes Prespa and Ohrid. about 500 taxa from ancient lake system, *Iconographia Diatomologica*. ARG Gantner Verlag KG.
- Lindstrom ES, Langenheder S., 2011. Local and regional factors influencing bacterial community assembly. *Environmental Microbiology Reports* 4, 1–9. <https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2011.00257.x>
- Loos, R., Gawlik, B.M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S., Bidoglio, G., 2009. EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental pollution* 157, 561–568.
- Loos, R., Locoro, G., Comero, S., Contini, S., Schwesig, D., Werres, F., Balsaa, P., Gans, O., Weiss, S., Blaha, L., Bolchi, M., Gawlik, B.M., 2010. Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. *Water Research* 44, 4115–4126. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.032>
- Mann, D.G., 1999. The species concept in diatoms. *Phycologia* 38, 437–495.
- Mann, D.G., Chepurinov, V.A., 2005. Auxosporulation, mating system, and reproductive isolation in *Neidium* (Bacillariophyta). *Phycologia* 44, 335–350.
- Mann, D.G., McDonald, S.M., Bayer, M.M., Droop, S.J.M., Chepurinov, V.A., Loke, R.E., Ciobanu, A., du Buf, J.M.H., 2004. The Sellaphora pupula species complex (Bacillariophyceae): morphometric analysis, ultrastructure and mating data provide evidence for five new species. *Phycologia* 43, 459–482.
- Mann, D.G., Sato, S., Trobajo, R., Vanormelingen, P., Souffreau, C., 2010. DNA barcoding for species identification and discovery in diatoms. *Cryptogamie Algologie* 31, 557–577.
- Mann, D.G., Vanormelingen, P., 2013. An inordinate fondness? The number, distributions and origins of diatom species. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 60, 1–26.
- Marcel, R., Bouchez, A., Rimet, F., 2013. Influence of herbicide contamination on diversity and ecological guilds of river diatoms. *Cryptogamie Algologie* 34, 169–183.
- Mayr, E., 1942. *Systematics and the Origin of Species, from the Viewpoint of a Zoologist*. Cambridge: Harvard University Press.
- Mondy, C.P., Villeneuve, B., Archaimbault, V., Usseglio-Polatera, P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18, 452–467.
- Moniz, M.B.J., Kaczmarska, I., 2010. Barcoding of Diatoms: Nuclear Encoded ITS Revisited. *Protist* 161, 7–34.
- Moniz, M.B.J., Kaczmarska, I., 2009. Barcoding diatoms: Is there a good marker? *Molecular Ecology Resources* 9, 65–74.
- Morueta-Holme, N., Enquist, B.J., McGill, B.J., Boyle, B., Jørgensen, P.M., Ott, J.E., Peet, R.K., Šímová, I., Sloat, L.L., Thiers, B., Violle, C., Wiser, S.K., Dolins, S., Donoghue II, J.C., Kraft, N.J.B., Regetz, J., Schildhauer, M., Spencer, N., Svenning, J.-C., 2013. Habitat area and climate stability determine geographical variation in plant species range sizes. *Ecology Letters* 16, 1446–1454. <https://doi.org/10.1111/ele.12184>
- Mouquet, N., Devictor, V., Meynard, C.N., Munoz, F., Bersier, L.-F., Chave, J., Couteron, P., Dalecky, A., Fontaine, C., Gravel, D., Hardy, O.J., Jabot, F., Lavergne, S., Leibold, M., Mouillot, D., Münkemüller, T., Pavoine, S.,

- Prinzing, A., Rodrigues, A.S.L., Rohr, R.P., Thébault, E., Thuiller, W., 2012. Ecophylogenetics: advances and perspectives. *Biological Reviews* 87, 769–785. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00224.x>
- Münkemüller, T., Lavergne, S., Bzeznik, B., Dray, S., Jombart, T., Schiffrers, K., Thuiller, W., 2012. How to measure and test phylogenetic signal. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 743–756. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00196.x>
- Padial, J.M., Miralles, A., De la Riva, I., Vences, M., 2010. The integrative future of taxonomy. *Front. Zool.* 7, 16. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-7-16>
- Padisak, J., Borics, G., Grigorszky, I., Soroczki-Pinter, E., 2006. Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive: the assemblage index. *Hydrobiologia* 553, 1–14.
- Padisak, J., Crossetti, L.O., Naselli-Flores, L., 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621, 1–19.
- Passy, S.I., 2007. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86, 171–178.
- Peres, F., Florin, D., Grollier, T., FeurtetMazel, A., Coste, M., Ribeyre, F., Ricard, M., Boudou, A., 1996. Effects of the phenylurea herbicide isoproturon on periphytic diatom communities in freshwater indoor microcosms. *Environmental pollution* 94, 141–152.
- Pompanon, F., Coissac, E., Taberlet, P., 2011. Metabarcoding a new way to analyze biodiversity. *Biofutur* 30–32.
- Potapova, M., Hamilton, P.B., 2007. Morphological and ecological variation within *Achnanthes minutissimum* (Bacillariophyceae) species complex. *J. Phycol.* 43, 561–575.
- Potapova, M.G., Charles, D.F., Ponader, K.C., Winter, D.M., 2004. Quantifying species indicator values for trophic diatom indices: a comparison of approaches. *Hydrobiologia* 517, 25–41.
- Reynolds, C.S., Huszar, V., Kruk, C., Naselli-Flores, L., Melo, S., 2002. Toward a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.* 24, 417–428.
- Rimet, F., 2012. Recent views on river pollution and diatoms. *Hydrobiologia* 683, 1–24.
- Rimet, F., 2009. Benthic diatom assemblages and their correspondence with ecoregional classifications: case study of rivers in north-eastern France. *Hydrobiologia* 636, 137–151.
- Rimet, F., Abarca, N., Bouchez, A., Kusber, W.H., Jahn, R., Kahlert, M., Keck, F., Kelly, M.G., Mann, D.G., Piuze, A., Trobajo, R., Tapolczai, K., Vasselon, V., Zimmermann, J., 2018a. The potential of high throughput sequencing (HTS) of natural samples as a source of primary taxonomic information for reference libraries of diatom barcodes. *Fottea*. <https://doi.org/doi.10.5507/fot.2017.013>
- Rimet, F., Bouchez, A., 2012a. Biomonitoring River Diatoms: Implications of Taxonomic Resolution. *Ecological Indicators* 15, 92–99.
- Rimet, F., Bouchez, A., 2012b. Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406, 1–14.
- Rimet, F., Bouchez, A., 2011. Use of diatom life-forms and ecological guilds to assess pesticide contamination in rivers: lotic mesocosm approaches. *Ecological Indicators* 11, 489–499.
- Rimet, F., Bouchez, A., Montuelle, B., 2015. Benthic diatoms and phytoplankton to assess nutrients in a large lake: Complementarity of their use in Lake Geneva (France-Switzerland). *Ecological Indicators* 53, 231–239.
- Rimet, F., Bouchez, A., Tapolczai, K., 2016a. Spatial heterogeneity of littoral benthic diatoms in a large lake: monitoring implications. *Hydrobiologia* 771, 179–193.
- Rimet, F., Chaumeil, P., Keck, F., Kermarrec, L., Vasselon, V., Kahlert, M., Franc, A., Bouchez, A., 2016b. R-Syst::diatom: An open-access and curated barcode database for diatoms and freshwater monitoring. *Database: The Journal of Biological Databases and Curation*. 2016, 21.
- Rimet, F., Ector, L., Cauchie, H.M., Hoffmann, L., 2009. Changes in diatom-dominated biofilms during simulated improvements in water quality: implications for diatom-based monitoring in rivers. *Eur. J. Phycol.* 44, 567–577.

- Rimet, F., Ector, L., Cauchie, H.M., Hoffmann, L., 2004. Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. *Hydrobiologia* 520, 105–117.
- Rimet, F., Feret, L., Bouchez, A., Dorioz, J.M., Dambrine, E., 2019. Factors influencing the heterogeneity of benthic diatom communities along the shoreline of natural alpine lakes. *Hydrobiologia* 839, 103–118. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-03999-z>
- Rimet, F., Goma, J., Cambra, J., Bertuzzi, E., Cantonati, M., Cappelletti, C., Ciutti, F., Cordonier, A., Coste, M., Delmas, F., Tison, J., Tudesque, L., Vidal, H., Ector, L., 2007. Benthic diatoms in western European streams with altitudes above 800 M: Characterisation of the main assemblages and correspondence with ecoregions. *Diatom Research* 22, 147–188.
- Rimet, Fr., Gusev, E., Kahlert, M., Kelly, M.G., Kulikovskiy, M., Maltsev, Y., Mann, D.G., Pfannkuchen, M., Trobajo, R., Vasselon, V., Zimmermann, J., Bouchez, A., 2019. Diat.barcode, an open-access curated barcode library for diatoms. *Sci Rep* 9, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51500-6>
- Rimet, F., Trobajo, R., Mann, D.G., Kermarrec, L., Franc, A., Domaizon, I., Bouchez, A., 2014. When is Sampling Complete? The Effects of Geographical Range and Marker Choice on Perceived Diversity in *Nitzschia palea* (Bacillariophyta). *Protist* 165, 245–259.
- Rimet, F., Vasselon, V., A.-Keszte, B., Bouchez, A., 2018b. Do we similarly assess diversity with microscopy and high-throughput sequencing? Case of microalgae in lakes. *Organisms Diversity & Evolution* 18, 51–62.
- Rivera, S., 2017. Comparison of microscopy and DNA metabarcoding in the use of benthic diatoms as water quality indicators: case of Lake Bourget (Savoie, France). INRA.
- Rivera, S.F., Vasselon, V., Ballorain, K., Carpentier, A., Wetzel, C.E., Ector, L., Bouchez, A., Rimet, F., 2018. DNA metabarcoding and microscopic analyses of sea turtles biofilms: Complementary to understand turtle behavior. *PLOS ONE* 13, e0195770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195770>
- Rivera, S.F., Vasselon, V., Bouchez, A., Rimet, F., 2020. Diatom metabarcoding applied to large scale monitoring networks: Optimization of bioinformatics strategies using Mothur software. *Ecological Indicators* 109, 105775. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105775>
- Rocha, M.P., Bini, L.M., Siqueira, T., Hjort, J., Grönroos, M., Lindholm, M., Karjalainen, S.-M., Heino, J., 2018. Predicting occupancy and abundance by niche position, niche breadth and body size in stream organisms. *Oecologia* 186, 205–216. <https://doi.org/10.1007/s00442-017-3988-z>
- Rose, D., Cox, E.J., 2014. What constitutes *Gomphonema parvulum*? Long-term culture studies show that some varieties of *G. parvulum* belong with other *Gomphonema* species. *Plant Ecology and Evolution* 147, 366–373.
- Roubeix, V., Mazzella, N., Schouler, L., Fauvelle, V., Morin, S., Coste, M., Delmas, F., Margoum, C., 2011. Variations of periphytic diatom sensitivity to the herbicide diuron and relation to species distribution in a contamination gradient: implications for biomonitoring. *J. Environ. Monit.* 13, 1768–1774. <https://doi.org/10.1039/c0em00783h>
- Round, F., Crawford, C.G., Mann, D.G., 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press.
- Rovira, L., Trobajo, R., Sato, S., Ibanez, C., Mann, D.G., 2015. Genetic and Physiological Diversity in the Diatom *Nitzschia inconspicua*. *Journal of Eukaryotic Microbiology* 62, 815–832.
- Ruggiero, A., 1994. Latitudinal Correlates of the Sizes of Mammalian Geographical Ranges in South America. *Journal of Biogeography* 21, 545–559. <https://doi.org/10.2307/2845657>
- Sabbe, K., Chepurinov, V.A., Mann, D.G., Vyverman, W., 2004. Sexual behaviour, auxosporulation and chloroplast dynamics in a marine *Amphora* (Bacillariophyceae) studied in culture. *Botanica Marina* 47, 53–63.
- Sarno, D., Kooistra, W., Balzano, S., Hargraves, P.E., Zingone, A., 2007. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): III. Phylogenetic position and morphological variability of *Skeletonema costatum* and *Skeletonema grevillei*, with the description of *Skeletonema ardens* sp. nov. *J. Phycol.* 43, 156–176.
- Sarno, D., Kooistra, W., Medlin, L.K., Percopo, I., Zingone, A., 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). II. An assessment of the taxonomy of *S. costatum*-like species with the description of four new species. *J. Phycol.* 41, 151–176.

- SIG website, 2020. GeniLac, le plus grand réseau thermique écologique | SIG [WWW Document]. URL <https://ww2.sig-ge.ch/actualites/genilac-le-plus-grand-reseau-thermique-ecologique> (accessed 7.28.20).
- Smol, J.P., Stoermer, E.F., 2010. The diatoms: applications for the environmental and earth sciences - second edition. Cambridge University Press.
- Soininen, J., Jamoneau, A., Rosebery, J., Passy, S., 2016. Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography* 1–11.
- Soininen, J., Teittinen, A., 2019. Fifteen important questions in the spatial ecology of diatoms. *Freshwater Biology* 64, 2071–2083. <https://doi.org/10.1111/fwb.13384>
- Sokal, R.R., 1966. Numerical taxonomy. *Scientific American* 215, 106–116.
- Sokal, R.R., Sneath, P.H.A., 1963. Principles of Numerical Taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco. USA.
- Sonkoly, J., Deák, B., Valkó, O., Molnár V, A., Tóthmérész, B., Török, P., 2017. Do large-seeded herbs have a small range size? The seed mass-distribution range trade-off hypothesis. *Ecol Evol* 7, 11204–11212. <https://doi.org/10.1002/ece3.3568>
- Stenger-Kovacs, C., Buczko, K., Hajnal, E., Padisak, J., 2007. Epiphytic, littoral diatoms as bioindicators of shallow lake trophic status: Trophic Diatom Index for Lakes (TDIL) developed in Hungary. *Hydrobiologia* 589, 141–154.
- Stoof-Leichsenring, K.R., Pestryakova, L.A., Epp, L.S., Herzsuh, U., 2020. Phylogenetic diversity and environment form assembly rules for Arctic diatom genera—A study on recent and ancient sedimentary DNA. *Journal of Biogeography* n/a. <https://doi.org/10.1111/jbi.13786>
- svgw, www.svgw.ch, 2020. Développement de réseaux thermiques à Genève [WWW Document]. SVGW. URL https://www.aquaetgas.ch/fr/energie/chaleur-a-distance/03012020_chaleur-a-distance-a-genève/ (accessed 7.28.20).
- Tapolczai, K., Bouchez, A., Stenger-Kovács, C., Padisák, J., Rimet, F., 2017. Taxonomy- or trait-based ecological assessment for tropical rivers? Case study on benthic diatoms in Mayotte island (France, Indian Ocean). *Science of The Total Environment* 607–608, 1293–1303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.093>
- Tapolczai, K., Bouchez, A., Stenger-Kovacs, C., Padisak, J., Rimet, F., 2016. Trait-based ecological classifications for benthic algae: review and perspectives. *Hydrobiologia* 776, 1–17.
- Tapolczai, K., Vasselon, V., Bouchez, A., Stenger-Kovács, C., Padisák, J., Rimet, F., 2019. The impact of OTU sequence similarity threshold on diatom-based bioassessment: A case study of the rivers of Mayotte (France, Indian Ocean). *Ecology and Evolution* 9, 166–179. <https://doi.org/10.1002/ece3.4701>
- Teittinen, A., Soininen, J., 2015. Testing the theory of island biogeography for microorganisms patterns for spring diatoms. *Aquat Microb Ecol* 75, 239–250.
- Tison, J., Giraudel, J.L., Coste, M., Park, Y.S., Delmas, F., 2004. The use of unsupervised neural networks for ecoregional zoning of hydrosystems through diatom communities: case study of Adour-Garonne watershed (France). *Arch Hydrobiol* 159, 409–422.
- Tison, J., Park, Y.S., Coste, M., Wasson, J.G., Ector, L., Rimet, F., Delmas, F., 2005. Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: a study on the French hydrosystem scale. *Water Research* 39, 3177–3188.
- Tison, J., Park, Y.S., Coste, M., Wasson, J.G., Rimet, F., Ector, L., Delmas, F., 2007. Predicting diatom reference communities at the French hydrosystem scale: A first step towards the definition of the good ecological status. *Ecological Modelling* 203, 99–108.
- Torrisi, M.C., Rimet, F., Cauchie, H.M., Hoffmann, L., Ector, L., 2006. Bioindication par les diatomées épilithiques et épiphytes dans la rivière Sure (Luxembourg). *Belg.Journ.Bot.* 139, 39–48.
- Trobajo, R., Clavero, E., Chepurinov, V., Sabbe, K., Mann, D.G., Ishihara, S., Cox, E.J., 2009. Morphological, genetic and mating diversity within the widespread bioindicator *Nitzschia palea* (Bacillariophyceae). *Phycologia* 48, 443–459.

- Trobajo, R., Mann, D.G., Clavero, E., Evans, K.M., Vanormelingen, P., McGregor, R.C., 2010. The use of partial *cox1*, *rbcl* and LSU rDNA sequences for phylogenetics and species identification within the *Nitzschia palea* species complex (Bacillariophyceae). *European Journal of Phycology* 45, 413–425.
- Trobajo, R., Rovira, L., Ector, L., Wetzel, C.E., Kelly, M., Mann, D.G., 2013. Morphology and identity of some ecologically important small *Nitzschia* species. *Diatom Research* 28, 37–59.
- Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., Tachet, H., 2000. Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology* 43, 175–205.
- Usseglio-Polatera, P., Richoux, P., Bournaud, M., Tachet, H., 2001. A functional classification of benthic macroinvertebrates based on biological and ecological traits: application to river condition assessment and stream management. *Arch.Hydrobiol.Suppl.* 139, 53–83.
- Valentini, A., Pompanon, F., Taberlet, P., 2009. DNA barcoding for ecologists. *Trends in Ecology & Evolution* 24, 110–117.
- Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J., 1994. A coded checklist and ecological indicators values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28, 117–33.
- Van De Vijver, B., Beyens, L., 1999. Biogeography and ecology of freshwater diatoms in Subantarctica: a review. *Journal of Biogeography* 26, 993–1000.
- Van De Vijver, B., Frenot, Y., Beyens, L., 2002. Freshwater diatoms from Ile de la Possession (Crozet Archipelago, Subantarctica). *Bibliotheca Diatomologica* 46, 1–412.
- Vasselon, V., Bouchez, A., Rimet, F., Jacquet, S., Trobajo, R., Corniquel, M., Tapolczai, K., Domaizon, I., 2018. Avoiding quantification bias in metabarcoding: Application of a cell biovolume correction factor in diatom molecular biomonitoring. *Methods in Ecology and Evolution* 9, 1060–1069. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12960>
- Vasselon, V., Domaizon, I., Rimet, F., Kahlert, M., Bouchez, A., 2017a. Application of high-throughput sequencing (HTS) metabarcoding to diatom biomonitoring: Do DNA extraction methods matter? *Freshwater Science* 36, 162–177.
- Vasselon, V., Rimet, F., Domaizon, I., Monnier, O., Reyjol, Y., Bouchez, A., 2019. Assessing pollution of aquatic environments with diatoms' DNA metabarcoding: experience and developments from France water framework directive networks. *Metabarcoding and Metagenomics* 3, e39646. <https://doi.org/10.3897/mbmg.3.39646>
- Vasselon, V., Rimet, F., Tapolczai, K., Bouchez, A., 2017b. Assessing ecological status with diatoms DNA metabarcoding: Scaling-up on a WFD monitoring network (Mayotte island, France). *Ecological Indicators* 82, 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.024>
- Verneaux, J., 1973. Recherche écologique sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. (Thesis). Université de Franche-Comté, Besançon, France.
- Verneaux, J., Faessel, B., Malesieu, G., 1976. Note préliminaire à la proposition de nouvelles méthodes de détermination de la qualité des eaux courantes. *Trav. Lab. Hydrobiol. Univ. Besançon et C.T.G.R.E.F* 14 p.
- Villeneuve, A., 2008. Effets conjoints de facteurs physiques (lumière et vitesse de courant) et chimiques (pesticides) sur la structure et la composition du périphyton : une approche mutli-échelle. Université de Savoie, Chambéry, France.
- Vyverman, W., Verleyen, E., Sabbe, K., Vanhoutte, K., Sterken, M., Hodgson, D.A., Mann, D.G., Juggins, S., De Vijver, B.V., Jones, V., Flower, R., Roberts, D., Chepurnov, V.A., Kilroy, C., Vanormelingen, P., De Wever, A., 2007. Historical processes constrain patterns in global diatom diversity. *Ecology* 88, 1924–1931.
- Weigand, H., Beermann, A.J., Čiampor, F., Costa, F.O., Csabai, Z., Duarte, S., Geiger, M.F., Grabowski, M., Rimet, F., Rulik, B., Strand, M., Szucsich, N., Weigand, A.M., Willassen, E., Wyler, S.A., Bouchez, A., Borja, A., Čiamporová-Zaťovičová, Z., Ferreira, S., Dijkstra, K.-D.B., Eisendle, U., Freyhof, J., Gadawski, P., Graf, W., Haegerbaeumer, A., van der Hoorn, B.B., Japoshvili, B., Keresztes, L., Keskin, E., Leese, F., Macher, J.N., Mamos, T., Paz, G., Pešić, V., Pfannkuchen, D.M., Pfannkuchen, M.A., Price, B.W., Rinkevich, B., Teixeira, M.A.L., Várbíró, G., Ekrem, T., 2019. DNA barcode reference libraries for the monitoring of aquatic biota

- in Europe: Gap-analysis and recommendations for future work. *Science of The Total Environment* 678, 499–524. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.247>
- Weiher, E., Keddy, P.A., 1995. Assembly Rules, Null Models, and Trait Dispersion: New Questions from Old Patterns. *Oikos* 74, 159. <https://doi.org/10.2307/3545686>
- Wheeler, Q.D., Raven, P.H., Wilson, E.O., 2004. Taxonomy: Impediment or Expedient? *Science* 303, 285–285. <https://doi.org/10.1126/science.303.5656.285>
- Wojtal, A.Z., Ector, L., Van De Vijver, B., Morales, E.A., Blanco, S., Piatek, J., Smieja, A., 2011. The *Achnanthydium minutissimum* complex (Bacillariophyceae) in southern Poland. *Algological Studies* 136/137, 211–238.
- Zelinka, M., Marvan, P., 1961. Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewasser. *Arch.Hydrobiol.* 57, 389–407.
- Zingone, A., Percopo, I., Sims, P.A., Sarno, D., 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). I. A reexamination of the type material of *S. costatum* with the description of *S. grevillei* sp nov. *J.Phycol.* 41, 140–150.