

Inventaire de la biodiversité des cours d'eau du canton de Genève à l'aide de l'ADN environnemental



Genève, 15 mai 2023

Date: 15.05.2023

Mandat:

Arielle Cordonier
Service de l'écologie de l'eau
25, avenue de Sainte-Clotilde
1205 Genève

Rapport n°: 15052023GE

Pages: 43 (plus Matériel supplémentaire
pages 44-93)

Annexes:

Annexe 1 - Statistiques de séquençage (Excel)

Annexe 2 - Tableaux d'ASV (Excel)

Annexe 3 - Tableaux du rapport (Excel)

Contact:

Arielle.Cordonier@etat.ge.ch

Résumé des résultats

La biodiversité aquatique dans six cours d'eau du canton de Genève a été étudiée à l'aide de l'ADN environnemental (ADNe). Huit marqueurs génétiques ont été analysés afin de couvrir tous les groupes taxonomiques des eucaryotes, à l'exception des champignons et des plantes. Notre inventaire comprend 225 espèces d'algues, 19 espèces des poissons, 17 espèces de mollusques, 26 espèces de crustacés et 172 espèces d'insectes des milieux aquatiques, ainsi que des centaines d'espèces d'autres invertébrés, vertébrés et des protistes. Au total, notre étude a permis d'identifier 1'160 espèces correspondant à 2'828 séquences uniques (Amplicon Sequence Variants - ASVs). 13'319 séquences uniques supplémentaires n'ont pas pu être assignées jusqu'à l'espèce, soit parce l'espèce n'est pas répertoriée dans les bases de données génétiques, soit parce que la résolution du marqueur n'est pas suffisante au niveau de l'espèce et permet d'assigner seulement à des rangs taxonomiques supérieurs. Notre étude suggère qu'une partie importante de la biodiversité aquatique du canton de Genève, particulièrement les animaux de petite taille et les protistes, n'ont pas leur code-barres dans des bases de données génétiques. Un effort de barcoding afin de compléter les bases de données de ces groupes et l'utilisation d'un plus grand nombre de marqueurs avec des spécificités pour différents groupes taxonomiques seraient utiles pour rendre encore plus complets les inventaires futurs.

Project director

Kristina Cermakova



Scientific collaborator

Anne Mondino



Chief Scientific Office

Jan Pawlowski



Table de matières

Glossaire.....	4
1. Introduction.....	5
2. Échantillonnage et méthodes d'analyse.....	7
3. Résultats.....	8
3.1. Données de séquençage.....	8
3.2. Contrôles négatifs.....	8
3.3. Analyse des données par marqueur et par type d'échantillon.....	9
3.3.1. 16S Poisson – Eau.....	9
3.3.2. 16S mix (vertébrés/mollusques) - Eau	11
3.3.3. 16S crustacés (décapodes) – Eau.....	14
3.3.4. 18S V4 eucaryotes – Eau.....	15
3.3.5. COI Leray invertébrés	17
3.3.5.1 Eau.....	17
3.3.5.2. Sédiment.....	19
3.3.5.3. Kick-net.....	21
3.3.6. COI Leese invertébrés.....	23
3.3.6.1 Eau.....	23
3.3.6.2. Sédiment.....	25
3.3.6.3. Kick-net.....	27
3.3.7. rbcL diatomées - Biofilm.....	29
3.3.8. 18S V9 eucaryotes – Biofilm.....	31
3.4. Inventaire global de la biodiversité.....	33
4. Discussion et conclusions.....	41
5. Références.....	43
Matériel supplémentaire.....	44

Glossaire

ADN environnemental (ADNe, *sensu lato*)

Ensemble de matériel génomique provenant d'organismes vivants ou de traces laissées par ceux-ci (p. ex. peau, cellules, mucus, écailles, urine, excréments, salives, gamètes ou restes d'individus morts) présents dans des environnements variés tels que l'eau, les sédiments, le sol ou l'air.

Amorce

Courte séquence d'ADN simple brin utilisée pour répliquer l'ADN durant la PCR. On utilise en général une paire d'amorces bordant la région à répliquer par la polymérase.

Amplicon

Fragment d'ADN amplifié par PCR.

Amplification en chaîne par polymérase (PCR)

Procédé générant des copies d'une séquence définie d'ADN à l'aide d'une polymérase.

Assignation taxonomique

Identification taxonomique des séquences d'ADN fondée sur des bases de référence.

Base de référence

Collection de séquences d'ADN chacune liée à un spécimen identifié par morphologie et, idéalement, stockée dans des collections de musées. Les bases de référence servent à réaliser l'attribution taxonomique des séquences d'ADN obtenues à partir d'ADNe ou d'échantillons mixtes.

Contamination

Présence d'ADN étranger qui ne proviennent pas de l'échantillon.

Librairie

Collection de fragments d'ADN préparés pour le séquençage à haut débit (HTS). Des adaptateurs spécifiques sont ligués à chaque extrémité des fragments d'ADN.

Marqueur génétique

Région d'ADN génomique (p.ex. fragment du gène COI, région V9 du gène de l'ARN ribosomique 18S) permettant d'identifier des espèces au sein d'un groupe taxonomique spécifique.

Métabarcoding

Approche d'identification des espèces d'un échantillon complexe (p.ex. ADNe ou échantillon mixte) fondée sur les amplicons produits par séquençage à haut débit (HTS).

Phylotype

Un regroupement de séquences similaires selon l'analyse phylogénétique. Correspond à OTU (Operational Taxonomic Unit) ou espèce.

Séquençage à haut débit (HTS)

Méthode, également appelée séquençage nouvelle génération (NGS), qui produit des milliers de séquences d'ADN par des technologies de séquençage massivement parallèle.

Seuil

Valeur la plus faible acceptée pour un critère de qualité spécifique, utilisée au cours de nombreuses étapes du traitement bio-informatique destiné à nettoyer les données HTS.

Variant de séquences d'amplicon (*amplicon sequence variants*, ASV)

Séquence d'ADN unique produite par séquençage à haut débit d'amplicons après élimination des fausses séquences générées au cours de l'amplification et du séquençage PCR.

1. Introduction

La biodiversité aquatique comprend une grande variété des organismes, de plus petits microbes aux poissons et autres vertébrés, en passant par les divers groupes des protistes, des algues, et des invertébrés. En général, les inventaires conventionnels ciblent seulement une partie de la biodiversité, en principe les groupes les mieux connus, comme les poissons, les macrophytes, les macro-invertébrés et les diatomées. Une grande partie du monde vivant échappe à la bio-surveillance car les organismes qui la composent sont trop petits, trop fragiles ou trop difficiles à identifier.

Le but de cette étude est d'élargir les connaissances de la biodiversité aquatique du canton de Genève, en explorant la diversité des divers groupes d'eucaryotes à l'aide de l'approche innovant de l'ADN environnemental.

L'ADN environnemental (ADNe) représente un outil unique pour analyser la biodiversité dans son intégralité. Comme l'ADN est présent dans tous les organismes vivants, il est possible d'obtenir un inventaire global de la biodiversité en isolant l'ADN d'un simple échantillon environnemental (un litre d'eau, quelques grammes de sédiment ou de sol, etc.) (Figure 1). Chaque extrait d'ADNe contient à la fois l'ADN des microorganismes présents dans l'échantillon et les traces d'ADN des organismes de plus grande taille (Pawlowski et al. 2020a).

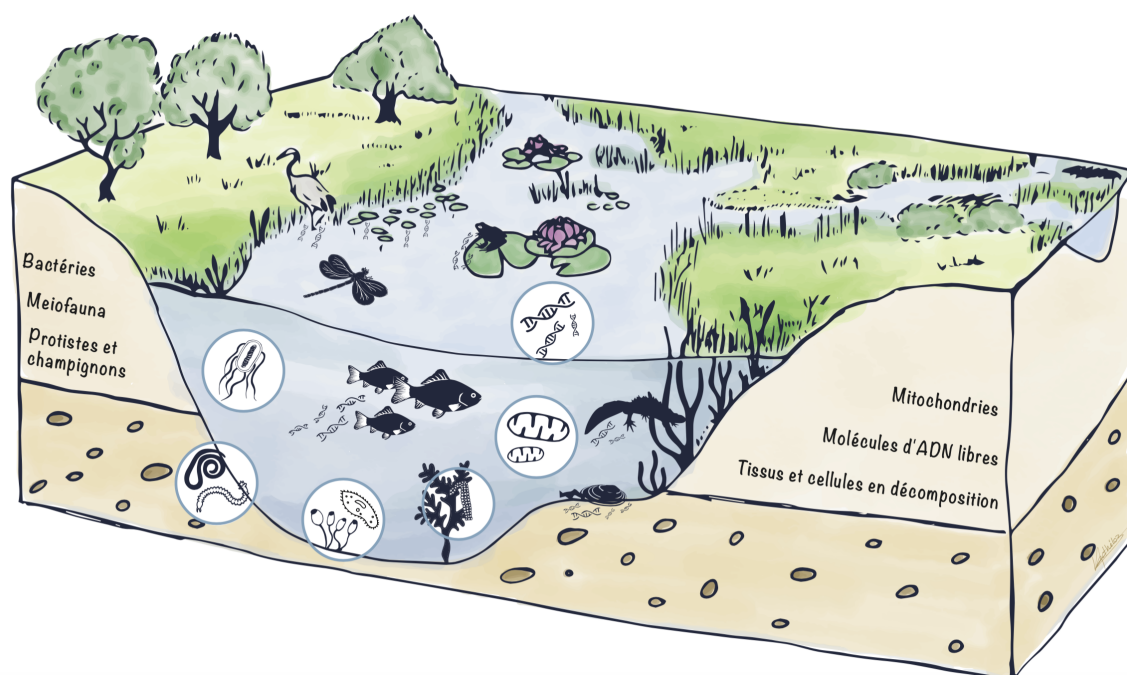


Fig. 1. Tous les organismes contribuent potentiellement à l'ADNe, qui peut provenir d'origines diverses, notamment des cellules entières ou des fragments de tissus, des organelles ou encore de l'ADN libre (Pawlowski et al. 2020b)

L'approche de l'ADNe permet d'obtenir **un inventaire global de la biodiversité**, en analysant l'ADN de tous les organismes vivants indépendamment de leur taille, leur âge ou stade de développement. Comme chaque espèce possède des fragments d'ADN spécifiques, il est possible de l'identifier en séquençant l'ADN et en assignant les séquences selon la base de

référence. En utilisant plusieurs marqueurs génétiques on peut couvrir la totalité de la biodiversité et inventorier à la fois les espèces de poissons, d'invertébrés, d'algues et de microorganismes (Figure 2).

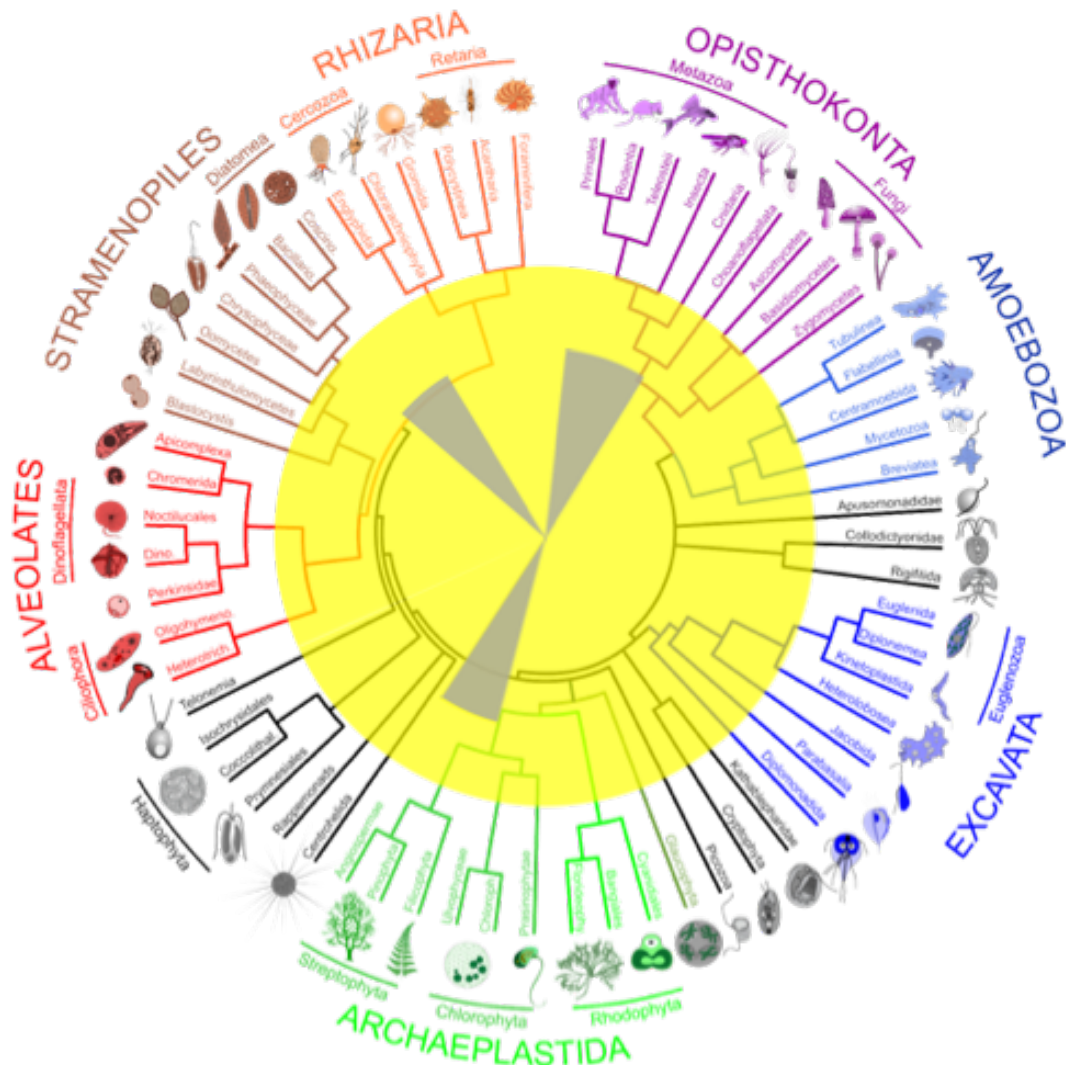


Fig. 2. L'arbre phylogénomique des eucaryotes (Pawlowski, Université de Genève), en jaune les groupes taxonomiques identifiables avec l'approche de l'ADNe, en gris les groupes taxonomiques étudiés dans le module Biologie du système d'analyse des cours d'eau de Suisse

Dans cette étude, nous avons ciblé toute la diversité d'eucaryotes, à l'exception de champignons et de plantes. Nous avons identifié les représentants de la plupart des grands groupes d'eucaryotes, à part ceux qui sont présents uniquement dans le milieu marin. En utilisant huit marqueurs génétiques appliqués aux échantillons d'eau, de sédiments, du kick-net, et du biofilm, nous avons réalisé une étude unique dans son genre. A notre connaissance, aucune étude similaire qui donne un aperçu holistique de la biodiversité aquatique dans toute sa complexité n'a pas encore été publiée.

2. Échantillonnage et méthodes d'analyse

Six cours d'eau de Genève ont été échantillonnés entre juin et juillet 2022 (Tableau 1). Pour chaque site, des échantillons d'eau, de sédiments, de biofilm ainsi que des invertébrés benthiques (kick-net) ont été récoltés.

Cours d'eau	Station	Code MESURE	Km	Coordonnée X	Coordonnée Y	Commune	Altitude [m]	Collection date
Drize	Grange-Collomb	R30K161P0	1750	2499269,449	1114600,219	Lancy	395	20.06.22
Aire	Pont du Gué	R45K2100P0	2100	2498259,421	1115730,184	Lancy	380	21.06.22
Allondon	Embouchure	R84K85P0	250	2489629,251	1115190,143	Dardagny	350	21.06.22
Vengeron	Amont CFF	R137K53P0	650	2500344,476	1122555,146	Pregny-Chambésy	375	07.07.22
Versoix	Embouchure	R145K565P0	100	2502174,28	1125635,204	Versoix	372	07.07.22
Seymaz	Embouchure	R14K111P0	100	2502969,426	1115070,255	Chêne-Bougeries	392	11.07.22

Tab.1. Données relatives aux sites d'échantillonnage

L'eau récoltée sur chaque site a été filtrée à travers trois filtres. Les sédiments récoltés sur chaque site ainsi que les invertébrés récoltés à l'aide d'un filet (kick-net) sur chaque site ont été placés dans de l'éthanol pur qui a ensuite été filtré à travers deux filtres, pour chaque échantillon de sédiment et de kick-net. Deux échantillons de biofilm ont été récoltés sur chaque site et placés dans un tampon de conservation d'ADN. Les détails de l'échantillonnage, des procédés de laboratoire et des analyses informatiques sont décrits dans la section Méthodologie du Matériel supplémentaire.

En résumé (Figure 3), l'extraction d'ADN a été effectuée dans un premier temps, en utilisant des étapes physiques et chimiques, afin de libérer et de purifier l'ADN à partir de cellules ou d'autres éléments présents sur les filtres d'eau, sur les filtres d'éthanol venant des sédiments et des échantillons kick-net et dans les échantillons de biofilm.

Ensuite, différents marqueurs génétiques ont été utilisés, visant différentes régions d'ADN génomique permettant d'identifier des espèces au sein d'un groupe taxonomique spécifique (vertébrés, invertébrés, diatomées, autres protistes). Grâce au procédé enzymatique appelé l'amplification en chaîne par polymérase (PCR) avec une paire d'amorces bordant la région à répliquer, des copies de la région d'ADN visée présente dans les extraits ont été générées. Ces copies d'ADN, appelées amplicons, ont été quantifiées, puis regroupées en bibliothèques préparées pour le séquençage à haut débit (HTS) sur un instrument MiSeq d'Illumina.

Des millions de séquences d'ADN obtenues avec le séquençage ont été traitées bio-informatiquement pour garder uniquement les séquences de très bonne qualité. Celles-ci représentent des séquences uniques d'amplicon (*amplicon sequence variants*, ASV). L'identification taxonomique des ASVs a été effectuée à l'aide des bases de référence contenant les listes d'espèces avec la séquence (de la région génomique visée par le marqueur) qui leur est propre. Plusieurs ASVs peuvent être assignés à la même espèce. Les occurrences de séquences des espèces dans les échantillons de différents sites ont été regroupées en des listes d'espèces créées pour chaque site.

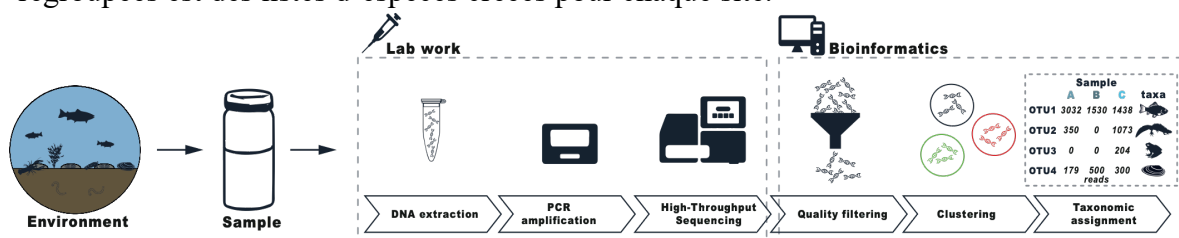


Fig. 3. Le flux des travaux d'analyses d'ADNe (figure de Laure Apothéloz Perret-Gentil)

3. Résultats

3.1. Données de séquençage

Au total, 19'617'099 séquences de haute qualité ont été obtenues par filtration des 23'243'308 séquences brutes. Le nombre de séquences uniques (ASVs) varie de 144 à 7'638 entre les différents marqueurs (Tableau 2). Les données par site sont présentées dans le Fichier Statistiques de séquençage par échantillon (Annexe 1).

Marqueur	Matrice	Séquences de haute qualité	ASVs	ASVs assignés
16S-Poisson	Eau	3'493'976	144	138
16S-Ver/Moll	Eau	2'235'363	679	495
16S-Déca	Eau	3'718'822	456	57
18S-V4	Eau	2'799'578	4'232	2'845
COI Leese	Eau	251'780	689	543
	Sédiment	35'452	160	111
	Kick-net	77'817	169	137
	Total	365'049	787	614
COI Leray	Eau	1'911'505	5'085	989
	Sédiment	1'112'071	3'743	439
	Kick-net	1'078'598	2'013	523
	Total	4'102'174	7'638	1'293
rbcL	Biofilm	1'515'589	254	221
18S-V9	Biofilm	1'386'548	1'957	1'424
Total		19'617'099	16'147	7'087

Tab.2. Pour chaque marqueur et matrice, nombre de séquences de haute qualité (après filtration), nombre total de séquences uniques (ASVs), nombre d'ASVs assignés (au rang taxonomique plus ou moins élevé)

3.2. Contrôles négatifs

Lors de l'extraction d'ADN des échantillons d'eau, un contrôle négatif a été effectué à la fin de chacune des quatre sessions d'extraction. Ainsi, pour tous les marqueurs utilisés sur les échantillons d'eau, ces quatre contrôles négatifs ont été amplifiés et séquencés afin de dépister d'éventuelles contaminations survenues lors de l'échantillonnage sur le terrain, de l'extraction d'ADN et/ou de la PCR. Dépendant des spécificités du marqueur, les séquences des contrôles négatifs représentaient de 0,007 à 2,8% des séquences du marqueur. Ils permettent de contrôler, en plus du processus d'extraction, si des contaminations croisées ont eu lieu lors du séquençage. Les séquences retrouvées dans ces contrôles négatifs permettent de mettre en évidence les phénomènes de saut de tag (tag jump) et de déterminer le seuil à mettre en place pour notre jeu de données.

3.3. Analyse des données par marqueur et par type d'échantillon

3.3.1. 16S Poisson - Eau

Au total, 3'493'976 séquences ont été obtenues pour le marqueur 16S Poisson. 99,3 % d'entre elles ont été assignées à différentes espèces de poissons, les autres séquences sont restées non-assignées ou assignées à d'autres groupes que les poissons, notamment aux Bryozoaires avec 15'352 séquences.

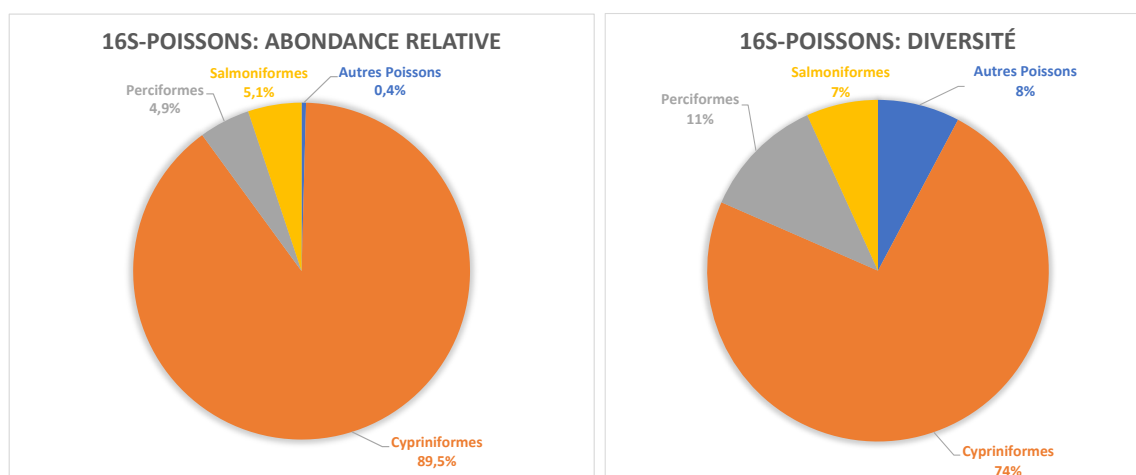


Fig.4. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur 16S-Poisson

Les Cypriniformes représentent le groupe le plus abondant et le plus diversifié en nombre d'ASVs (Figure 4). Viennent ensuite les Perciformes et Salmoniformes en termes d'abondance, avec cependant plus de diversité au sein des Perciformes (11% des ASVs assignés à ce groupe contre seulement 7% pour les Salmoniformes).

Au total, 20 espèces de poissons d'eau douce ont été identifiées avec ce marqueur (quelques espèces supplémentaires ont été identifiées avec les autres marqueurs). De plus, 5 espèces marines ont été trouvées dans les échantillons provenant de l'Aire (Tableau 3). On peut supposer que l'ADN de ces espèces (toutes de consommation) provient de l'activité commerciale (une poissonnerie pourrait avoir évacué l'eau directement dans le cours d'eau).

Espèce	Nom commun	Statut CH	Vengeron1	Vengeron2	Vengeron3	Versoix1	Versoix2	Versoix3	Seymaz1	Seymaz2	Seymaz3
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	VU	0	0	0	0	0	0	4083	3295	1749
<i>Ameiurus nebulosus/melas</i>	Poisson-chat	NEO	0	0	0	0	0	0	1320	1316	783
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche Franche	NT	0	0	0	72	24	85	1066	672	994+3
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau commun	NT	0	0	0	34	13	243	38412	34484	36396
<i>Cottus gobio</i>	Chabot	NT	0	0	0	5189	2444	9843	0	0	0
<i>Esox lucius</i>	Brochet	LC	0	0	0	0	0	57	0	0	0
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	NEO	0	0	0	449	136	528	0	0	0
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	LC	0	0	0	0	0	3	18085	22717	24728
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	NEO	0	0	0	0	0	4	3452	5382	1637
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	NEO	0	0	0	296	115	404	0	0	0
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	LC	0	0	0	53	0	0	0	0	8
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon commun	LC	58078	109961	172772	192	34	96	923	987	3625
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	LC	0	0	0	0	0	1	1295	2110	2314
<i>Salmo labrax</i>	Truite danubienne	CR	0	0	0	58	41	159	315	110	335
<i>Salmo trutta/trutta fario</i>	Truite atlantique	NT	0	0	0	1627	655	1590	10324	12623	12456
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine commun	LC	0	0	0	191714	245707	154089	73746	97286	109733
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	VU	0	0	0	0	0	1	498	1455	1523
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	EN	0	0	0	412	160	289	0	2	0
<i>Tinca tinca</i>	La Tanche	LC	0	0	0	0	0	0	68	26	0

Espèce	Nom commun	Statut CH	Drize1	Drize2	Drize3	Aire1	Aire2	Aire3	Allondon1	Allondon2	Allondon3
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Spirilin	VU	4	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ameiurus nebulosus/melas</i>	Poisson-chat	NEO	4	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche Franche	NT	0	0	2	96274	100860	118112	3860	30527	10414
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau commun	NT	23	18	5	0	5	0	3915	6749	9385
<i>Cottus gobio</i>	Chabot	NT	3	0	0	0	0	0	21784	41974	85804
<i>Esox lucius</i>	Brochet	LC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	NEO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	LC	5	12	3	924	4294	2093	0	3427	0
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perche soleil	NEO	398	4	203	0	0	0	0	0	0
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite arc-en-ciel	NEO	8	0	0	1221	0	48	0	0	0
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	LC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon commun	LC	200347	126637	196806	61868	64612	57290	38775	146626	156164
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	LC	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Salmo labrax</i>	Truite danubienne	CR	7457	2759	4339	0	0	0	1003	3744	1563
<i>Salmo trutta/trutta fario</i>	Truite atlantique	NT	37823	32068	29353	712	863	359	278	969	2363
<i>Squalius cephalus</i>	Chevaine commun	LC	359+12	20	0	41889	41885	51246	21337	59074	36308
<i>Telestes souffia</i>	Blageon	VU	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	EN	0	0	0	0	0	0	0	5398	4142
<i>Tinca tinca</i>	La Tanche	LC	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Argyrosomus sp.</i>	Courbine	marin	0	0	0	42	0	0	0	0	0
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun	marin	0	0	0	139	711	688	0	0	0
<i>Gadus morhua</i>	Morue de l'Atlantique	marin	0	0	0	34	0	0	0	0	0
<i>Pollachius pollachius</i>	Lieu jaune	marin	0	0	0	0	0	44	0	0	0
<i>Sebastes sp.</i>	Perche de mer	marin	0	0	0	199	63	0	0	0	0

Tab.3. Le nombre de séquences par site correspondant aux différentes espèces de poissons détectées avec le marqueur 16S Poisson, avec l'indication du statut en Suisse: CR pour les espèces au bord de l'extinction, EN en danger, VU vulnérable, NT potentiellement menacé, LC non menacé et NEO pour introduite. Les espèces en bleu correspondent aux espèces marines. Les occurrences significatives (au-dessus du seuil) sont surlignées en jaune. Les nombres en rouge correspondent aux potentiels sauts de tag.

Les nombres en rouge correspondent, quant à eux, aux occurrences peu abondantes qui peuvent provenir d'une erreur d'affectation du tag. Pour interpréter ces résultats il faut cependant prendre en considération les trois réplicats. On estime ainsi, par exemple à la Drize, que le Barbeau commun n'est soutenu dans les trois réplicats que par des séquences en dessous du seuil fixé, sa présence est donc contestée dans cette rivière. Seules les observations directes peuvent conclure si cette espèce est malgré tout présente et que ces proportions de séquences très faibles proviennent de traces ADN dans l'eau et pas des artefacts techniques.

Le nombre d'espèces varie entre, au minimum 4 pour la Drize et au maximum 13 pour la Seymaz. Parmi les espèces les plus présentes, on retrouve la truite, la loche, le vairon et le chevaine. Les espèces menacées que sont le spirilin et le blageon ont été trouvées, quant à elles, uniquement dans la Seymaz. Au site du Vengeron, seulement une espèce, le vairon, a été trouvée.

La diversité des groupes de poissons (en nombre d'ASVs) est assez similaire pour les sites Drize, Aire et Seymaz, tandis qu'Allondon et Vengeron montrent plus de différence (Figure 5).

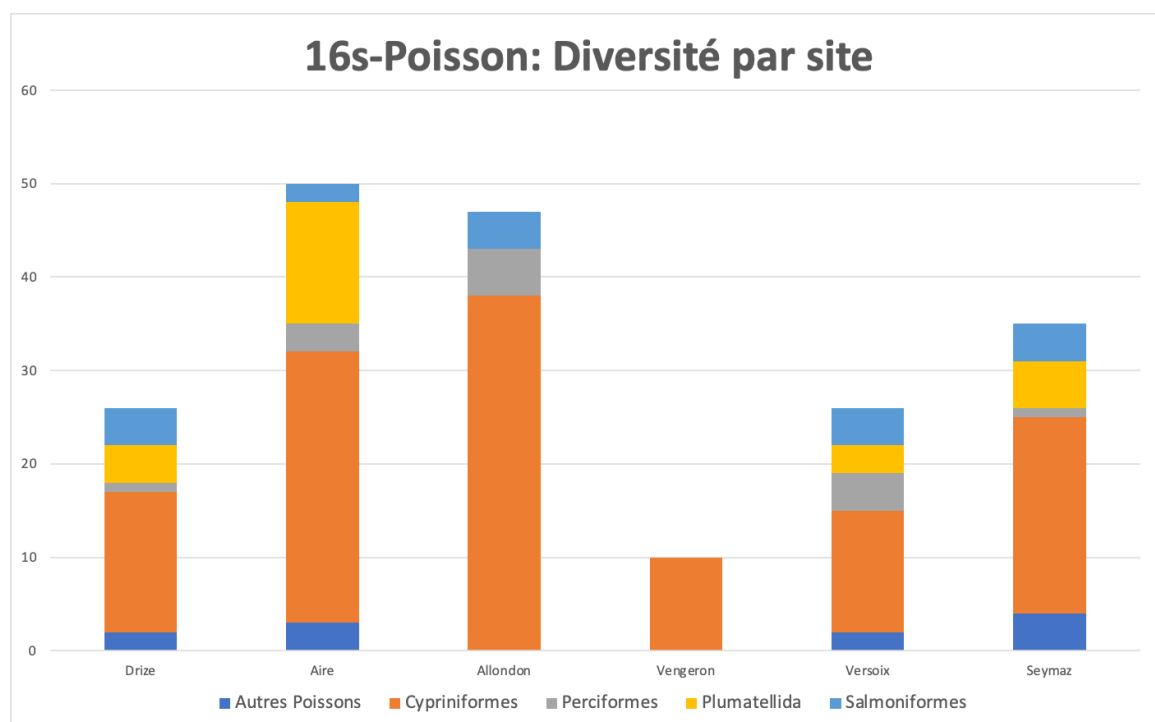


Fig.5. Diversité des poissons en nombre d'ASVs par site du marqueur 16S-Poisson

3.3.2. 16S mix (vertébrés/mollusques) - Eau

Au total, 2'235'363 séquences ont été obtenues pour le marqueur 16S mix. 86% de ces séquences ont été assignés aux eucaryotes, 13% aux bactéries et 1% est resté non assigné. Les données eucaryotiques sont largement dominées par les poissons, à 75%. Parmi les autres groupes de métazoaires, les plus abondants sont les mollusques (9%), les insectes (2%) et les mammifères (1% - sans séquences humaines). D'autres groupes d'eucaryotes sont aussi présents, notamment les Fungi, mais en très faible quantité.

En nombre d'ASVs (Figure 6), les métazoaires sont dominés par les insectes, les poissons, les mollusques (bivalves et gastéropodes), les oligochètes, les mammifères et les oiseaux. Les espèces de poissons les plus abondantes sont le vairon commun (*Phoxinus phoxinus*), la loche franche (*Barbatula barbatula*), la truite atlantique (*Salmo trutta*) et les Cyprinidés du complexe 2 qui comprend les genres *Chondrostoma*, *Leuciscus*, *Rutilus* et *Squalius*. Le marqueur 16S-mix ne permet pas de distinguer ces espèces, c'est pourquoi le marqueur 16S spécifique aux poissons a été utilisé.

Tout comme dans le marqueur 16S-Poisson, des espèces de poissons marins ont été identifiées dans l'Aire. Cela concerne au total 10 ASVs, qui ont montré la présence de 8 espèces d'origine marine (comprenant 4 des 5 espèces identifiées avec 16S-Poisson). Parmi ces espèces, on retrouve la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*), le bar commun

(*Gadus morhua*), la courbine (*Argyrosomus sp.*), la perche de mer (*Sebastes sp.*), le turbot (*Scophthalmus maximus*), la sole (*Solea solea*), la dorade royale (*Sparus aurata*) et le rouget de roche (*Mullus surmuletus*).

Parmi les autres vertébrés, on trouve 5 ASVs d'amphibiens, comprenant le triton alpestre (*Ichthyosaura alpestris*) dans la Drize et la salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) dans Allondon, le crapaud commun (*Bufo bufo*) dans la Drize, le Vengeron et la Seymaz et une grenouille du genre *Rana* dans la Drize, l'Aire, la Versoix et la Seymaz. Dans plusieurs sites on trouve aussi de l'ADN de mammifères, notamment du blaireau, du castor, du renard, de l'écureuil, du hérisson et plusieurs espèces de chauves-souris. Ceci démontre la capacité de détecter la plupart des espèces de mammifères dans les échantillons d'ADN isolé de l'eau.

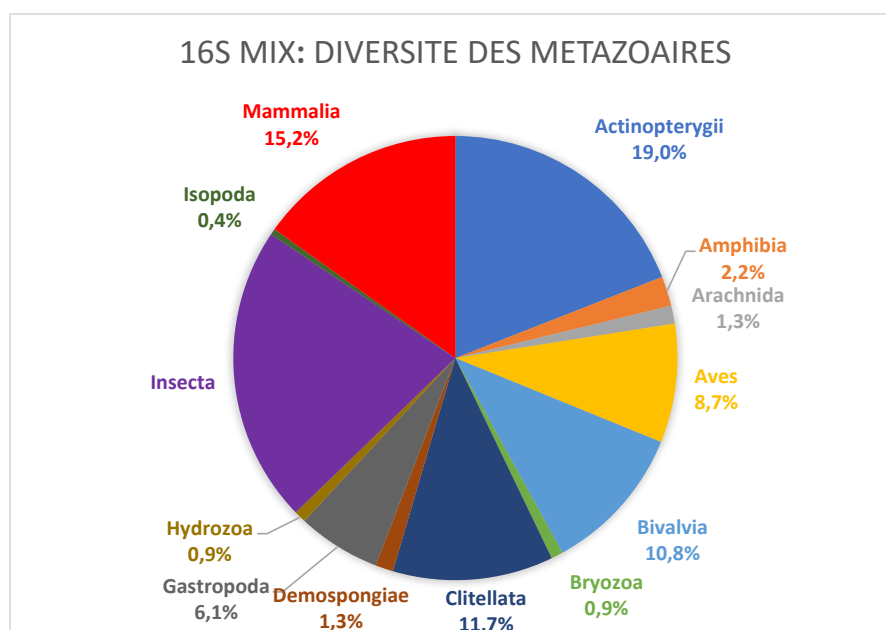


Fig.6. Diversité des métazoaires en nombre d'ASVs sur la base des données du marqueur 16S-Vertébrés/Mollusques

L'analyse de l'abondance relative, en nombre de séquences, et de la diversité, en nombre d'ASVs, des métazoaires par site montre quelques différences importantes entre les sites (Figures 7 et 8). Par exemple, Allondon est le site où les séquences d'insectes sont les plus abondantes et le plus diversifiées. On constate aussi que Vengeron comprend la plus faible quantité de l'ADN de poissons mais une proportion la plus importante de mammifères et d'oiseaux. Cela peut s'expliquer par le fait que le marqueur utilisé amplifie tous les vertébrés et que faute de poissons les traces d'ADN venant d'autres vertébrés ont été amplifiées.

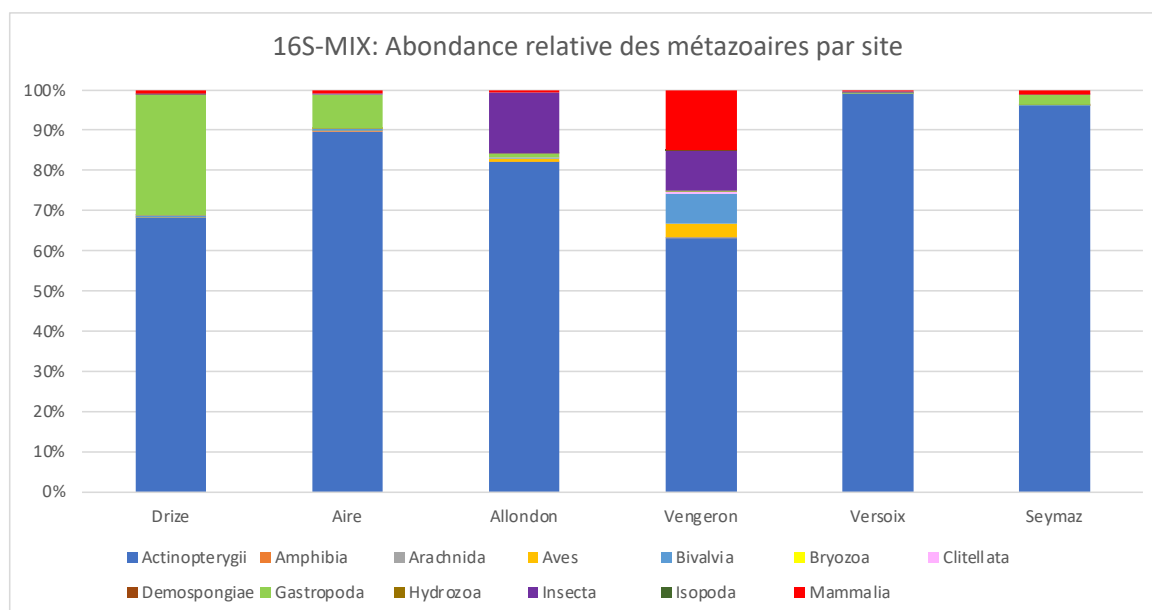


Fig.7. Abondance relative des métazoaires en nombre de séquences par site du marqueur 16S-Vertébrés/Mollusques

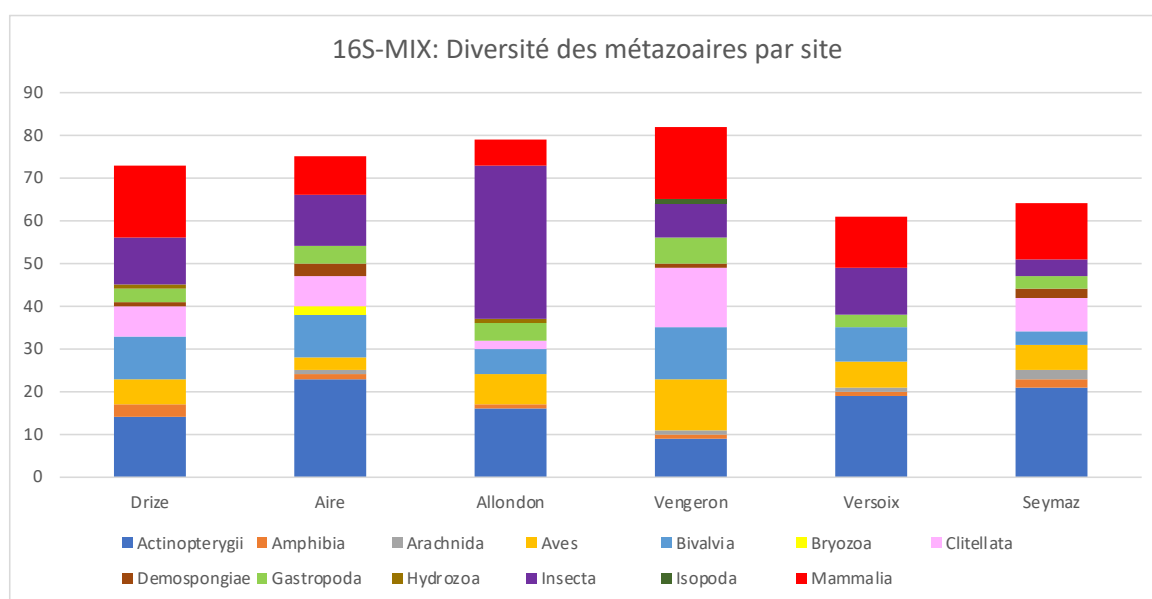


Fig.8. Diversité des métazoaires en nombre d'ASVs par site du marqueur 16S-Vertébrés/Mollusques

3.3.3. 16S crustacés (décapodes) - Eau

Au total, 3'718'822 séquences ont été obtenues pour le marqueur 16S-Déca. 2'388'301, soit 64,2% d'entre elles ont été assignées aux crustacés, le reste des séquences est resté non assigné. Cinq espèces de crustacés ont été identifiées : l'écrevisse signal (*Pacifastacus leniusculus*), ainsi que quatre isopodes, à savoir l'aselle (*Asellus aquaticus*), et trois espèces de *Proasellus* (Figure 9).

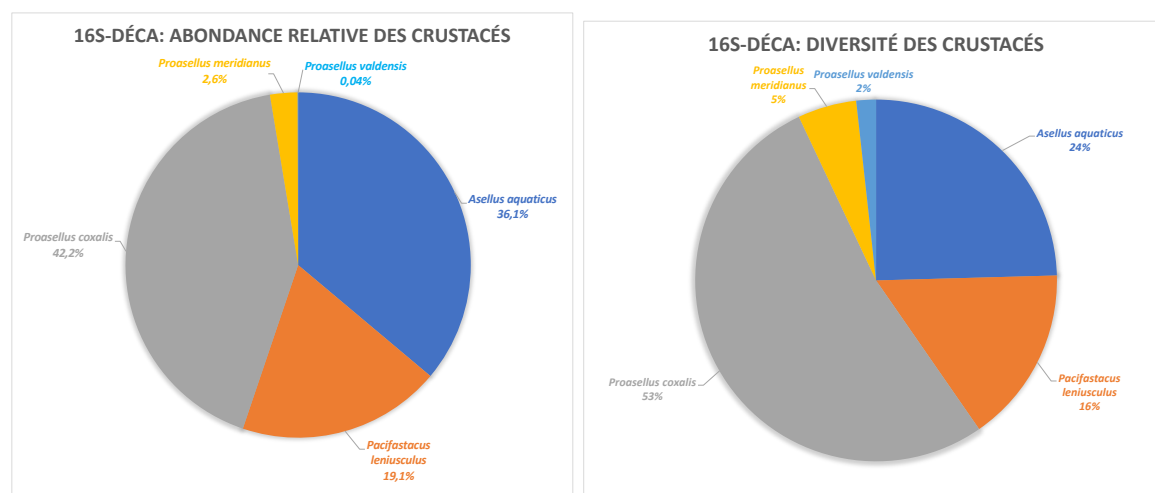


Fig.9. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur 16S-Déca

Parmi les trois espèces de *Proasellus* identifiées, *Proasellus coxalis* est la plus abondante et a été retrouvée dans chaque site. Les deux autres espèces, *Proasellus meridianus* et *Proasellus valdensis*, ont été, quant à elles, trouvées respectivement dans la Versoix avec 3 ASVs et l'Allondon avec seulement 1 ASV. L'identification de ces deux espèces a été confirmée par une analyse phylogénétique (Fig. supp. 1).

Espèce	Famille	Ordre	Statut Suisse	Drize1	Drize2	Drize3	Aire1	Aire2	Aire3	Allondon1	Allondon2	Allondon3
<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Astacidae	Decapoda	NEO	5217+27	17805	12565	77445	89741	73791	5387	1610	1378
<i>Asellus aquaticus</i>	Asellidae	Isopoda	INN	3	0	132	833+35	342	252	7704	1181	19620
<i>Proasellus coxalis</i>	Asellidae	Isopoda	NEO	50927	246236	164459	66646+12	24395+201	56676	6	0	1193
<i>Proasellus meridianus</i>	Asellidae	Isopoda	NEO	0	0	0	0	4	0	0	0	0
<i>Proasellus valdensis</i>	Asellidae	Isopoda	-	0	0	0	0	0	0	0	1049	0

Espèce	Famille	Ordre	Statut Suisse	Vengeron1	Vengeron2	Vengeron3	Versoix1	Versoix2	Versoix3	Seymaz1	Seymaz2	Seymaz3
<i>Pacifastacus leniusculus</i>	Astacidae	Decapoda	NEO	0	17	0	22+47	0	6567	127936	28877	7182
<i>Asellus aquaticus</i>	Asellidae	Isopoda	INN	56500	246343	522317	1605+120	194+62	2845	1859	160+115	52+11
<i>Proasellus coxalis</i>	Asellidae	Isopoda	NEO	0	239+15	2777	10077	1227	26704	281454	62699	11357
<i>Proasellus meridianus</i>	Asellidae	Isopoda	NEO	0	0	0	20259	3477	37810	2	0	0
<i>Proasellus valdensis</i>	Asellidae	Isopoda	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab.4. Espèces de crustacés trouvées avec le marqueur 16S-Déca et leur statut en Suisse: INN pour indigène en Suisse, NEO pour introduit et – pour non renseigné. Les occurrences significatives (au-dessus du seuil) sont surlignées en jaune. Les nombres en rouge correspondent aux potentiels sauts de tag.

Le nombre de séquences par site correspondant aux cinq espèces de crustacés retrouvées est illustré sur le tableau ci-dessus (Tableau 4). Parmi ces cinq espèces, trois sont introduites en Suisse (NEO), une est indigène (INN) et pour une il n'y a pas d'information. Aucune d'entre elles ne possède de statut sur la Liste Rouge Suisse et les espèces du genre *Proasellus* n'ont pas de nom commun. L'écrevisse signal, *Pacifastacus leniusculus*, a été

trouvée dans tous les sites à l'exception du Vengeron. L'aselle, *Asellus aquaticus*, a aussi été trouvée dans tous les sites. Cependant, le faible nombre de séquences présentes dans les échantillons de la Drize (au-dessous du seuil) peut provenir d'artefacts techniques au moment du séquençage (saut de tag). Si la présence de cette espèce sur ce site est confirmée par les experts, on peut alors considérer que ce nombre de séquence relativement faible provient de traces ADN.

3.3.4. 18S V4 eucaryotes - Eau

Le marqueur 18S-V4 a été utilisé pour analyser la diversité eucaryotique présente dans les échantillons d'eau. Au total, 2'799'578 séquences (dont 725 dans les contrôles négatifs) représentant 2'845 ASVs ont été assignées aux eucaryotes et 1'387 ASVs n'ont pas pu être assignés.

Tous les grands groupes d'eucaryotes sont représentés dans nos données. Les alvéolés (principalement les ciliés) dominent aussi bien en nombre de séquences (abondance) qu'en nombre d'ASVs (diversité) (Figure 10). Parmi les autres groupes abondants, il y a les archaeplastida (principalement les algues chlorophycées), les opisthokontes (champignons, métazoaires et certains protistes) et les stramenopiles (principalement les diatomées et les cryptophycées). En nombre d'ASVs, les groupes dominants après les alvéolés sont des opisthokontes, les stramenopiles et les rhizaria (Cercozoa).

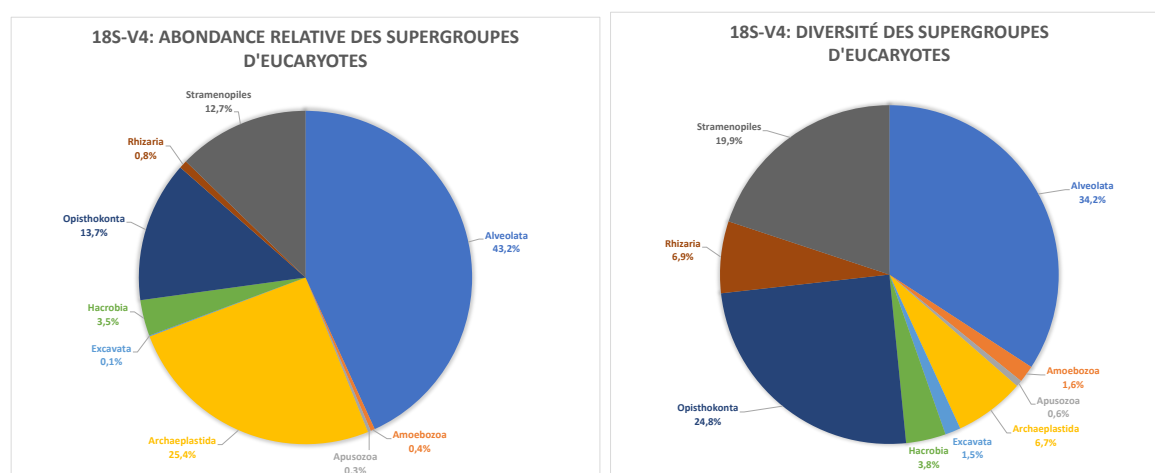


Fig.10. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur 18S-V4 eucaryotes

L'abondance des grands groupes de protistes change entre les sites (Figure 11). Les données provenant de l'Aire et de Seymaz sont dominées par les ciliés, tandis que dans les autres sites, ce sont les algues chlorophycées qui dominent. Les algues chrysophycées sont quant à elles particulièrement abondantes dans l'Aire, Allondon et Vengeron, tandis que les cryptophytes sont les plus abondants dans la Versoix.

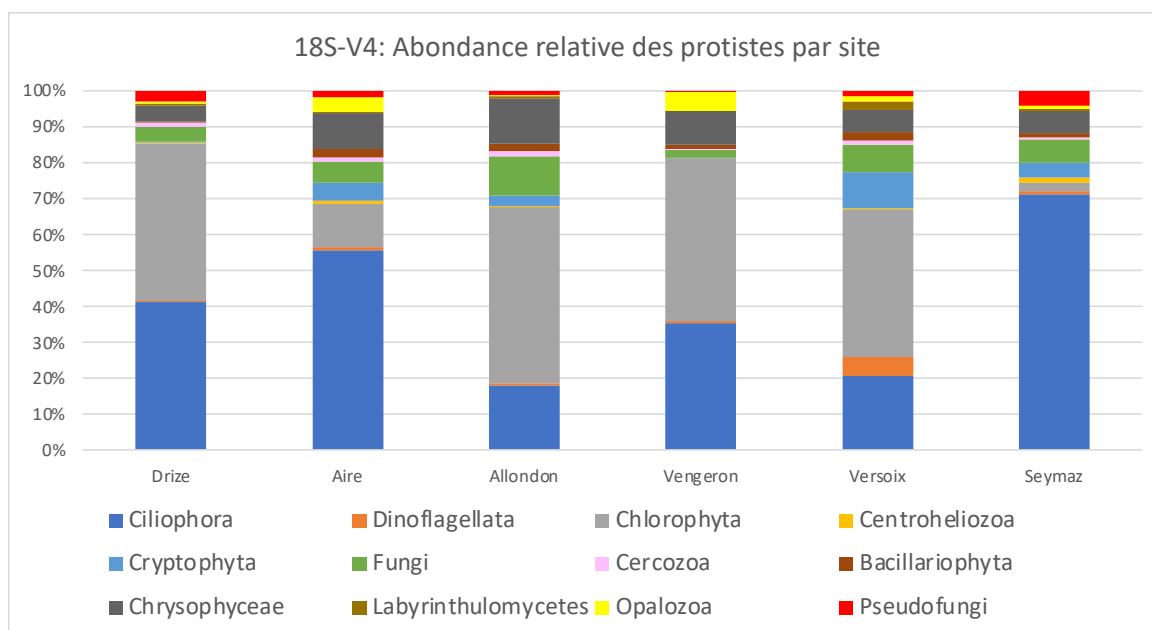


Fig.11. Abondance relative des protistes en nombre de séquences par site du marqueur 18S-V4

Ces différences de proportions sont beaucoup moins marquées si l'on analyse la diversité des groupes en nombre d'ASVs (Figure 12). Les groupes les plus diversifiés dans tous les sites sont les ciliés, les fungi ainsi que les chrysophycées. On observe aussi une assez grande diversité chez les Cercozoa et les algues chlorophycées.

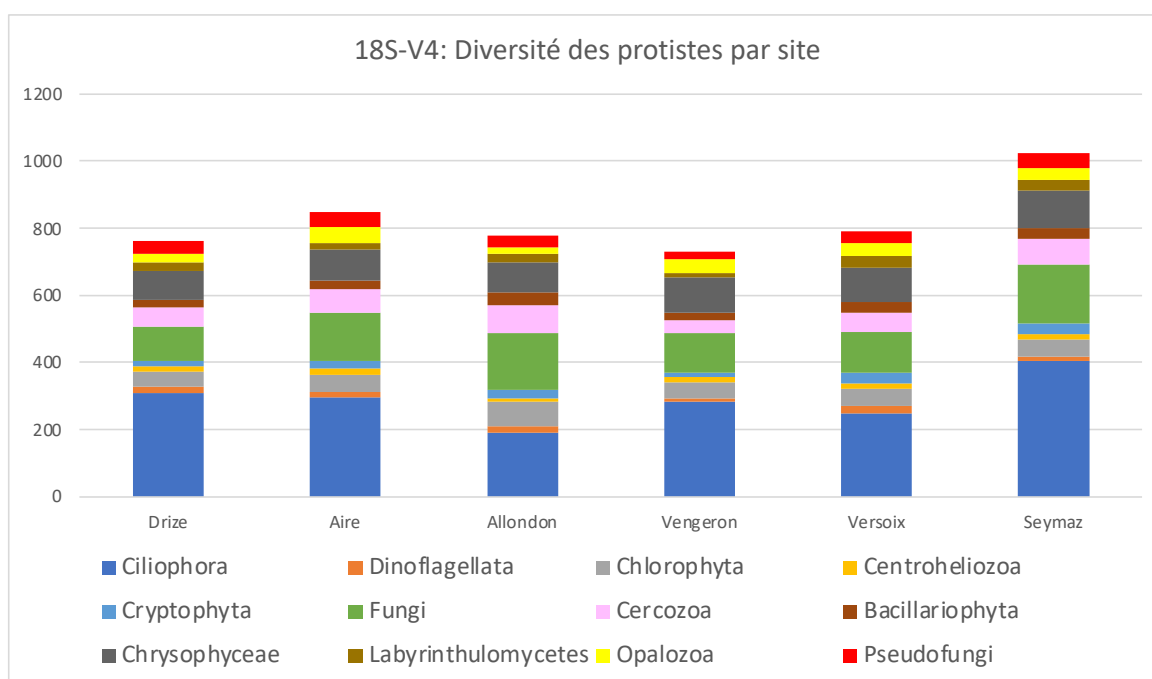


Fig.12. Diversité des protistes en nombre d'ASVs par site du marqueur 18S-V4

Le marqueur 18S-V4 permet aussi d'identifier les petits invertébrés, tels que les gastrotriches, plathelminthes, rotifères, etc. La diversité de ces groupes varie entre les sites (Figure 13), les insectes étant absent du Vengeron, puis présentant 3, 10, 12, 17, 31 ASVs dans la Seymaz, l'Aire, la Versoix, la Drize et l'Allondon, repectivement . La plus grande diversité est observée dans les échantillons provenant de la Drize et de la Seymaz, tandis que le site de Vengeron comprend le moins d'ASVs. Il y a des groupes qui sont très diversifiés dans certains sites, p.ex. les arachnides dans Allondon, ou les Myxozoa dans Aire et Seymaz. Les Myxozoa sont particulièrement intéressants car ils comprennent les parasites des poissons tels que *Tetracapsuloides bryosalmonae* responsable pour la maladie rénale des salmonidés. Parmi d'autres invertébrés, 3 groupes ont été trouvés uniquement dans le site de Drize : les némertiens, les collemboles et les tardigrades. Les autres groupes ont, quant à eux, été détectés dans au moins 3 sites.

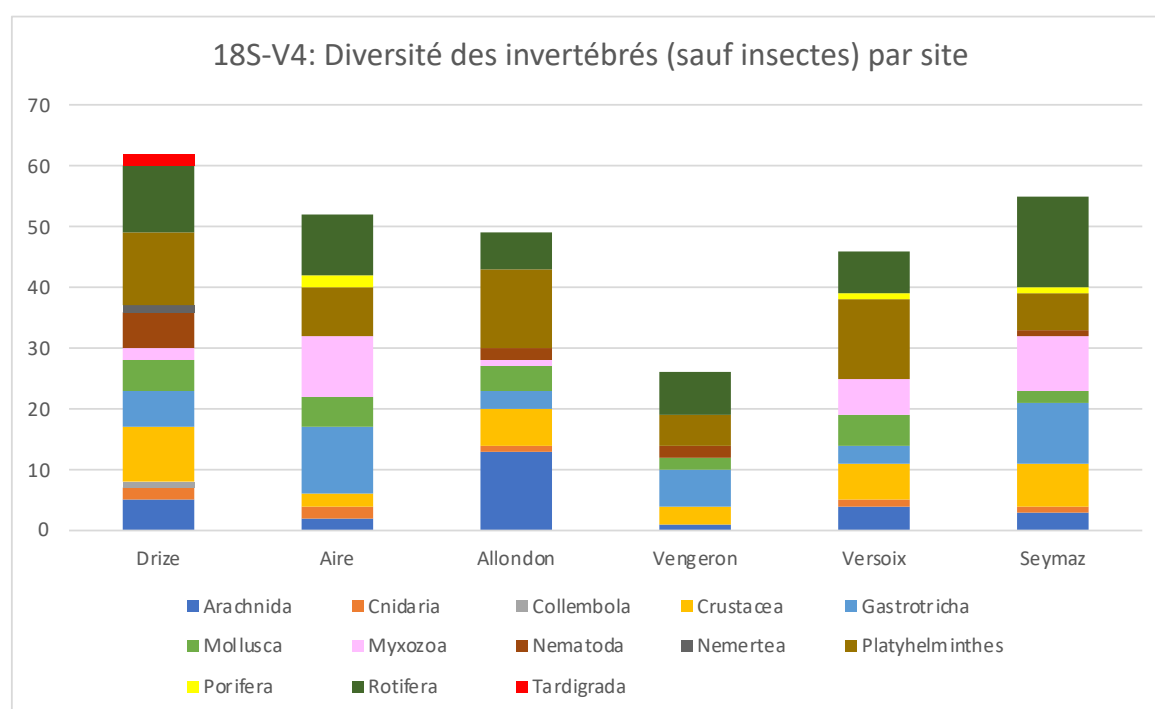


Fig.13. Diversité des invertébrés (sauf insectes) en nombre d'ASVs par site du marqueur 18S-V4

3.3.5. COI Leray invertébrés

Au total, 4'102'174 séquences et 7'638 ASVs ont été obtenus pour le marqueur invertébrés COI Leray. Parmi ces ASVs, seulement 17% ont été assignés. Pour la suite des analyses, les résultats ont été regroupés par type d'échantillons (eau, sédiment et kick-net).

3.3.5.1 Eau

Au total, 1'911'505 séquences, représentant 5'085 ASVs dont 989 assignés, ont été obtenus pour les échantillons d'eau. Trois groupes ont été trouvés en majorité, à savoir les insectes à 28%, les cnidaires à 25% et les algues rouges (rhodophycées) à 18% (Figure 14). En termes de diversité, les insectes représentent le groupe le plus diversifié en nombre d'ASVs (Figure 14).

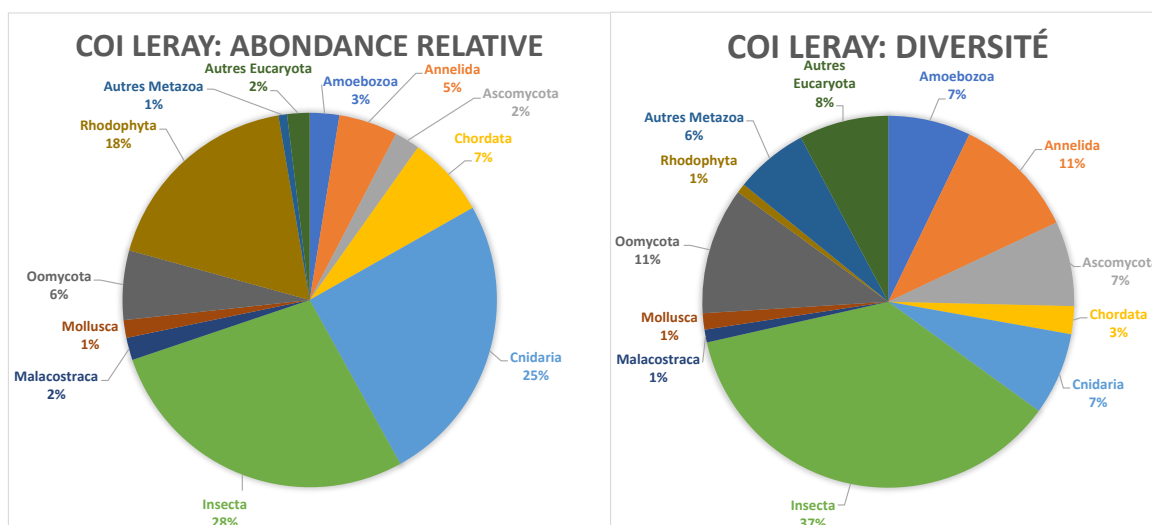


Fig.14. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur COI Leray sur les échantillons d'eau

L'abondance relative des différents groupes est très différente entre les sites (Figure 15). Les insectes sont particulièrement abondants aux sites d'Allondon, de Vengeron et de Versoix. Les cnidaires sont présents surtout à la Drize et la Versoix, les algues rouges (rhodophytes) à l'Aire et les oomycètes à la Seymaz. De plus, une espèce invasive de mollusque, *Physella acuta*, a été identifiée en faible quantité dans les sites Vengeron, Drize, Aire et Seymaz.

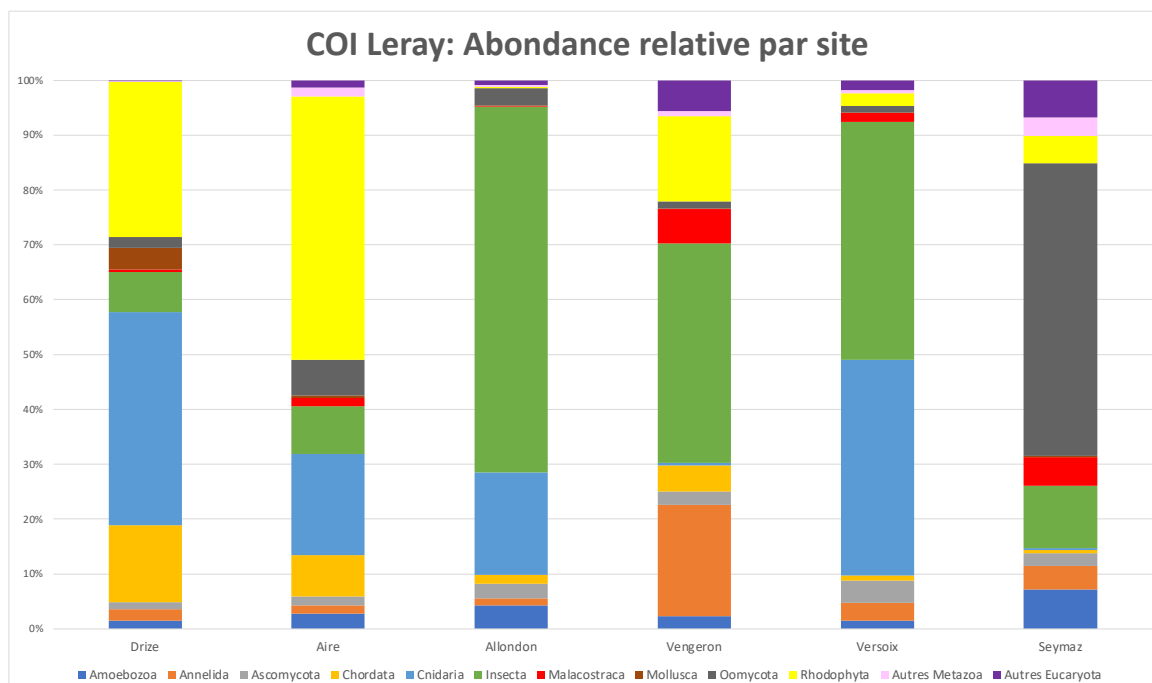


Fig.15. Abondance relative en nombre de séquences par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons d'eau

La diversité par site est très similaire sur tous les sites, avec le site d'Allondon qui se remarque par une grande diversité d'insectes (Figure 16).

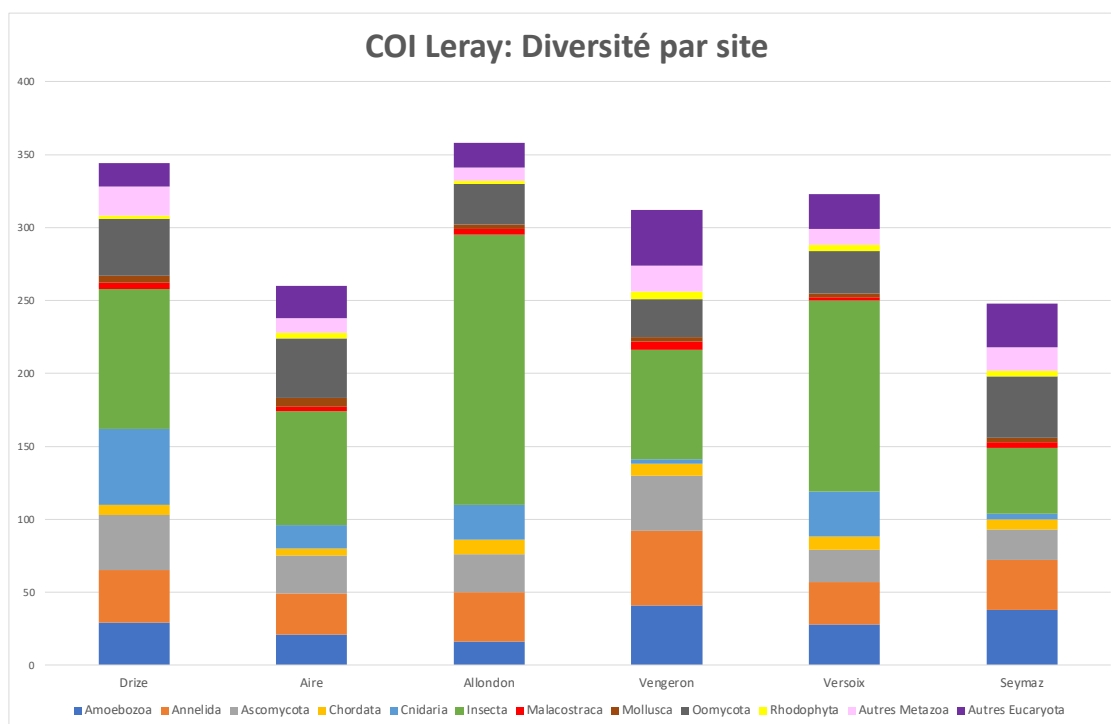


Fig.16. Diversité en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons d'eau

3.3.5.2. Sédiment

1'112'071 séquences et 439 ASVs assignés ont été obtenus pour les échantillons de sédiment. Les annélides représentent le groupe le plus abondant avec 62,6% des séquences qui leur sont assignées, puis les cnidaires à 34,4% (Figure 17). Les insectes sont peu abondants (0,7% des séquences) mais étonnement diversifiés (17% des ASVs) (Figure 17).

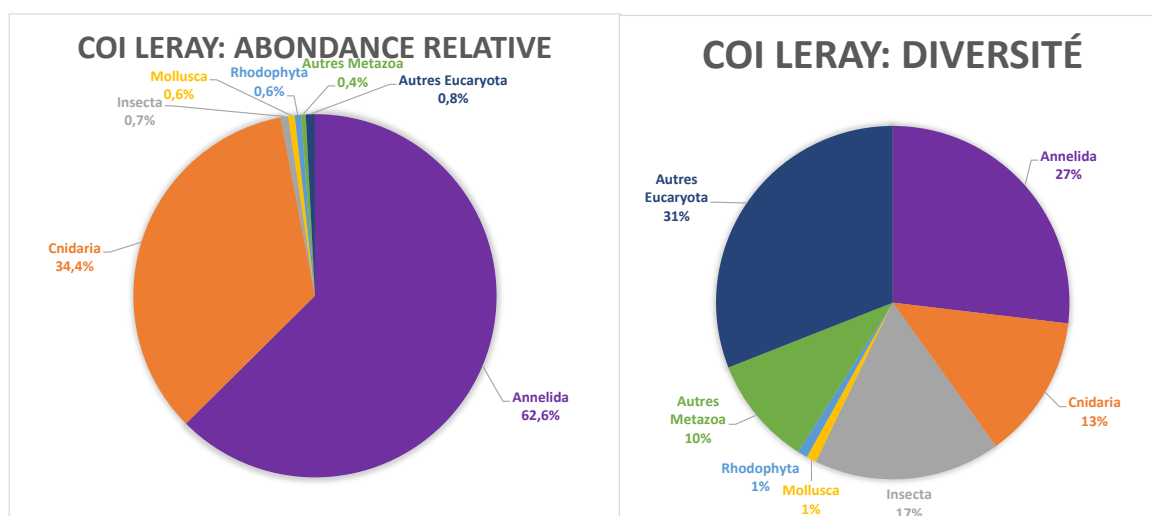


Fig.17. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur COI Leray sur les échantillons de sédiment

Les annélides (oligochètes) sont le groupe dont l'ADN domine par rapport aux autres métazoaires et eucaryotes détectés par ce marqueur sur tous les sites, à l'exception de l'Aire où l'ADN de cnidaires est dominant. (Figure 18).

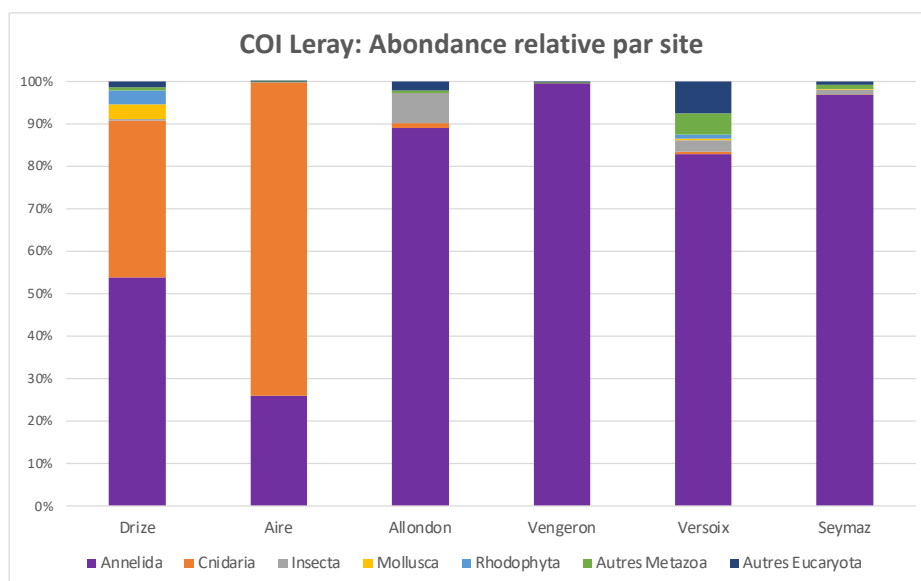


Fig.18. Abondance relative, en nombre de séquences par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons de sédiment

Le Vengeron est le site qui diffère le plus des autres, en nombre d'ASVs. En effet, ce site est dominé uniquement par les oligochètes et possède une faible diversité générale, tandis que les autres sites ont une importante quantité d'ASVs assignés aux cnidaires, insectes et autres eucaryotes (Figure 19).

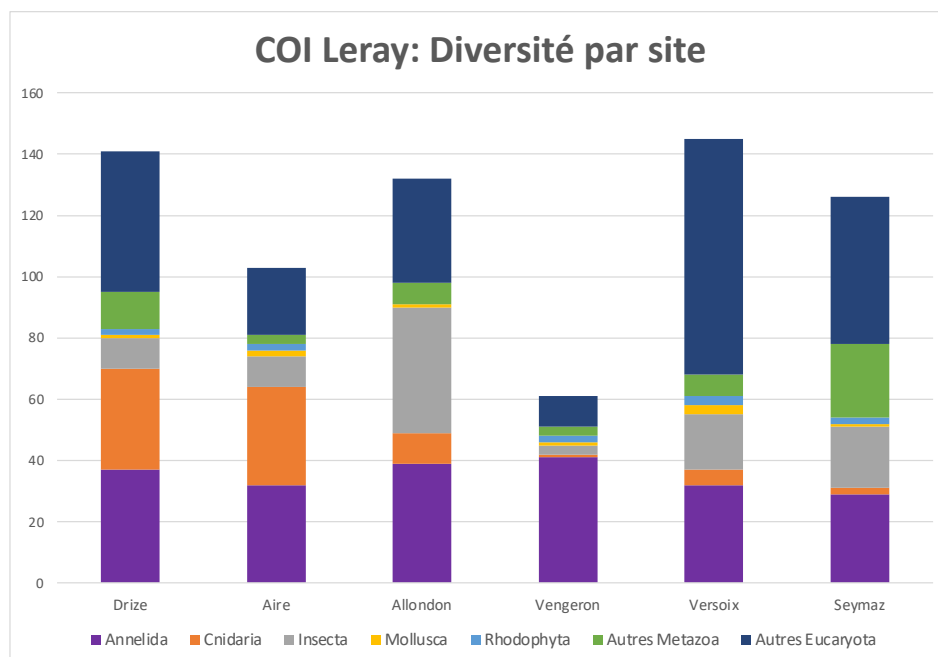


Fig.19. Diversité en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons de sédiment

3.3.5.3. Kick-net

1'078'598 séquences représentant 523 ASVs assignés ont été obtenus pour les échantillons de kick-net. Les insectes dominent les données à 48%, suivis par les annélides (oligochètes) à 40%. En termes de quantité d'ASVs, ce sont les insectes qui présentent la plus importante diversité à 38%, puis les annélides à 22% (Figure 20).

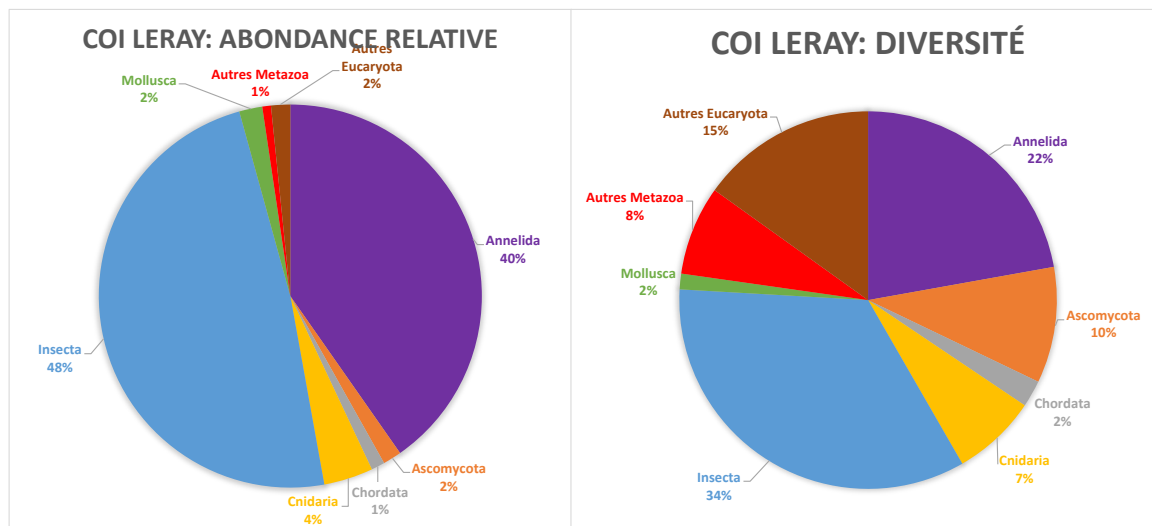


Fig.20. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur COI Leray sur les échantillons de kick-net

Les échantillons de kick-net montrent une abondance relative variable par site. Les oligochètes sont particulièrement abondants à la Drize, au Vengeron et à la Seymaz, tandis qu'à Allondon, Aire et à la Versoix, ce sont les insectes qui sont majoritaires (Figure 21).

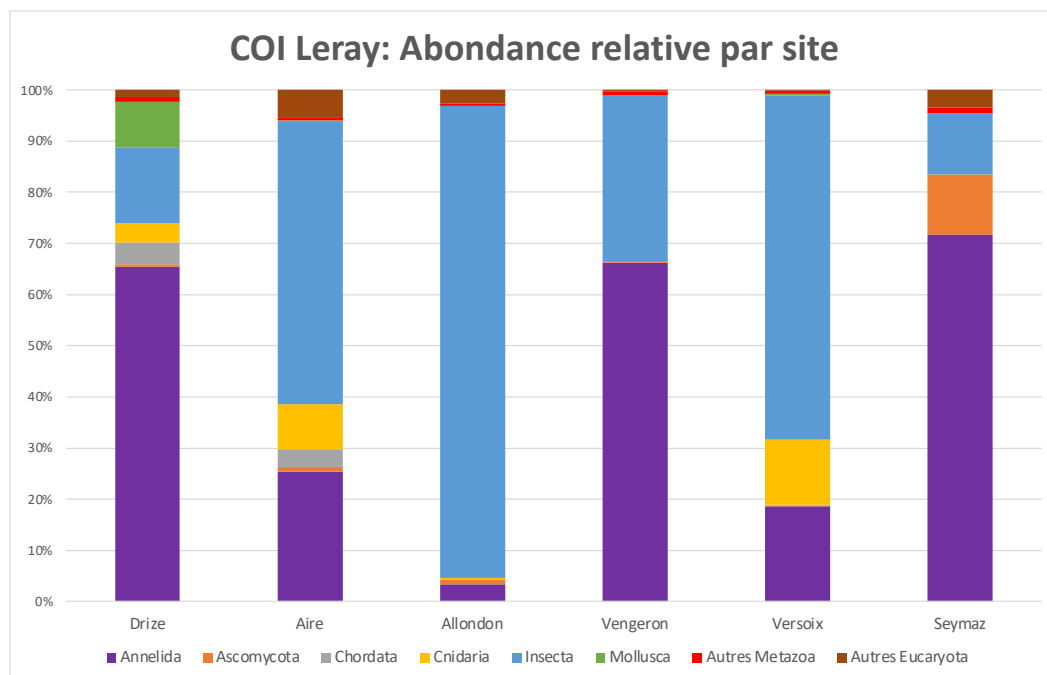


Fig.21. Abondance relative des données, en nombre de séquences par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons de kick-net

La Drize est le site montrant le plus de richesse en termes d'ASVs par groupe, tandis que les sites de l'Aire et du Vengeron sont, quant à eux, peu diversifiés (Figure 22).

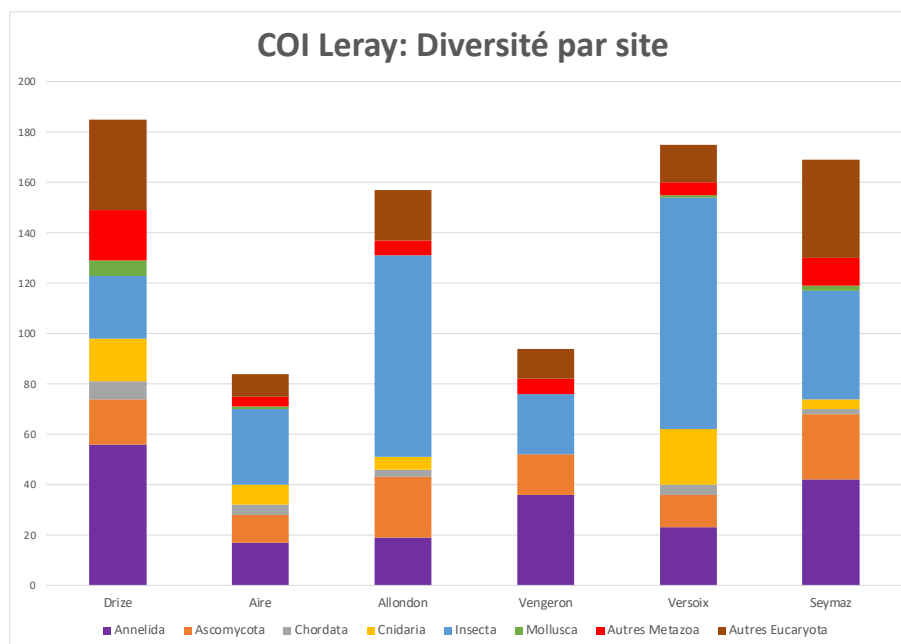


Fig.22. Diversité des eucaryotes, en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leray sur les échantillons de kick-net

Lorsqu'on compare les espèces trouvées dans les différents types d'échantillons (eau, sédiment, kick-net) on s'aperçoit que le nombre d'espèces communes varie beaucoup en fonction du groupe taxonomique. On constate que la proportion d'espèces communes est très élevée pour ce qui est des oligochètes et des crustacés (Figure 23 – A et C). Parmi les oligochètes, kick-net et l'eau apportent quelques espèces typiques des substrats grossiers, non-détectés dans les échantillons de sédiments. Pour ce qui est des insectes, on observe beaucoup moins de similitude entre les trois matrices (Figure 23 - B). En effet, beaucoup plus d'espèces d'insectes ont été trouvées dans l'eau, par rapport aux échantillons de sédiment et de kick-net. Ceci est probablement dû aux traces d'ADN des insectes qui se retrouvent dans l'eau, incluant celles des insectes terrestres.

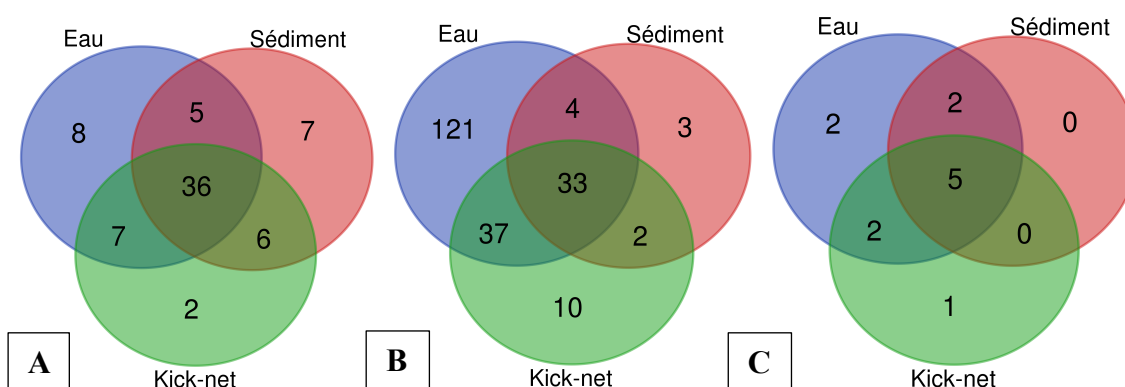


Fig.23. Diagrammes de Venn représentant les espèces d'oligochètes (A), d'insectes (B) et de crustacés (C) trouvées en commun ou de manière unique, selon la matrice utilisée (eau, sédiment et kick-net) avec le marqueur COI Leray

3.3.6. COI Leese insectes

Au total, 365'049 séquences et 787 ASVs ont été obtenus pour le marqueur invertébrés COI Leese. Parmi ces ASVs, 78% ont été assignés. Pour la suite des analyses, les résultats ont été regroupés par type d'échantillons (eau, sédiment et kick-net), comme dans le cas du marqueur COI Leray.

3.3.6.1 Eau

Au total, 251'780 séquences ont été obtenues pour le marqueur COI Leese appliqué aux échantillons d'eau, dont 47 séquences dans des contrôles négatifs d'extraction. 72,5% des séquences ont été assignées. Les diptères représentent 91% des séquences assignées. Les diptères représentent le groupe le plus diversifié en terme d'ASVs avec 74% du total d'ASVs qui leur est assigné. Les diptères mis à part, les autres groupes d'insectes les plus abondants sont notamment les coléoptères et les éphéméroptères, les coléoptères étant le groupe le plus diversifié après les diptères (Figure 24).

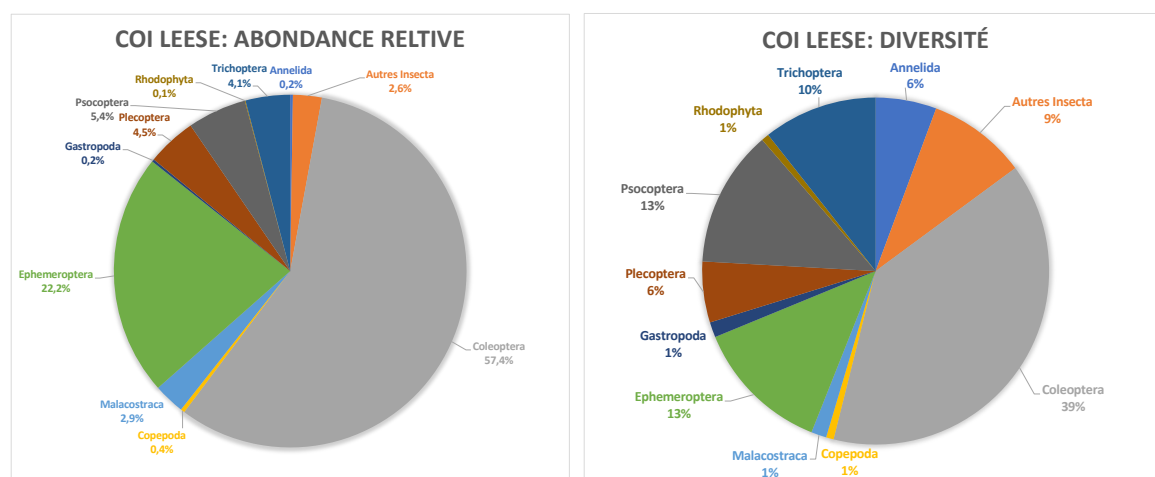


Fig.24. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs du marqueur COI Leese sur les échantillons d'eau (sans diptères)

Les diptères dominent largement les données, à plus de 90%, et ce pour chaque site. Ils dominent aussi largement en termes de diversité, notamment pour le site Allondon, où plus de 150 ASVs ont été attribués aux diptères. Une fois les diptères écartés, l'on se rend compte que l'abondance relative, ainsi que la diversité des insectes et autres invertébrés diffèrent considérablement entre les sites (Figure 25). Les Coléoptères dominent dans les sites Drize, Allondon, Vengeron et Versoix, tandis que dans Aire ce sont les éphéméroptères et à Seymaz ce sont les décapodes qui dominent (Malacostraca).

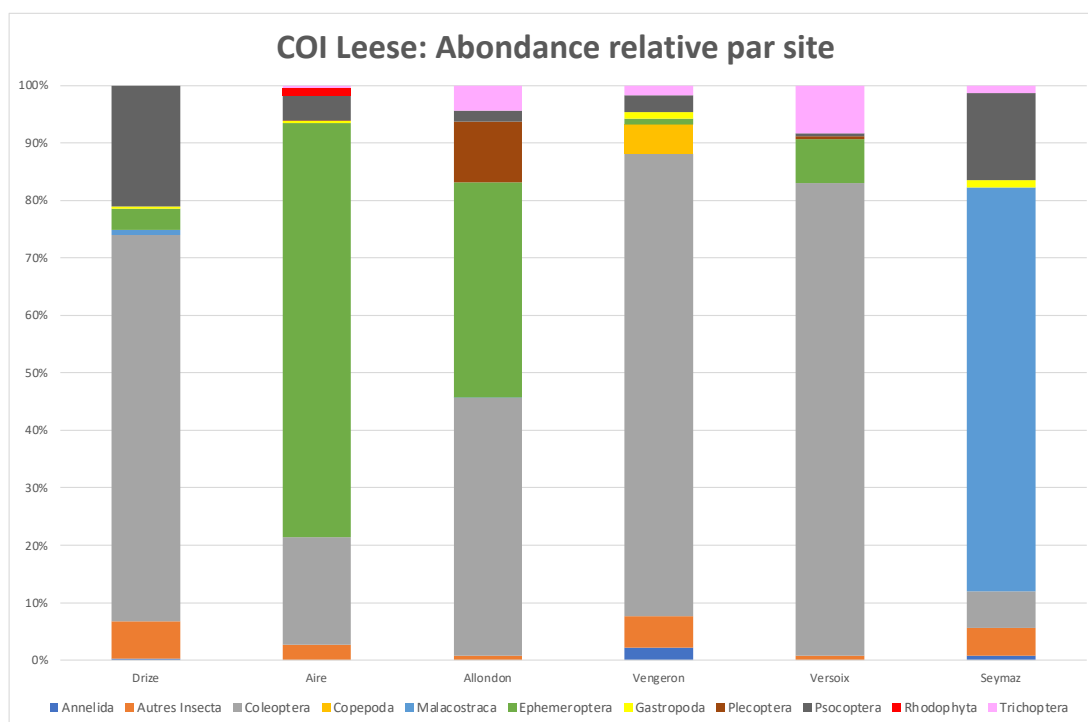


Fig.25. Abondance relative en nombre de séquences par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons d'eau (sans diptères)

Le site d'Allondon possède une diversité particulièrement importante (Figure 26). Aire, Vengeron et Seymaz, quant à eux, montrent la présence de nombreux groupes mais peu de diversité en nombre d'ASVs.

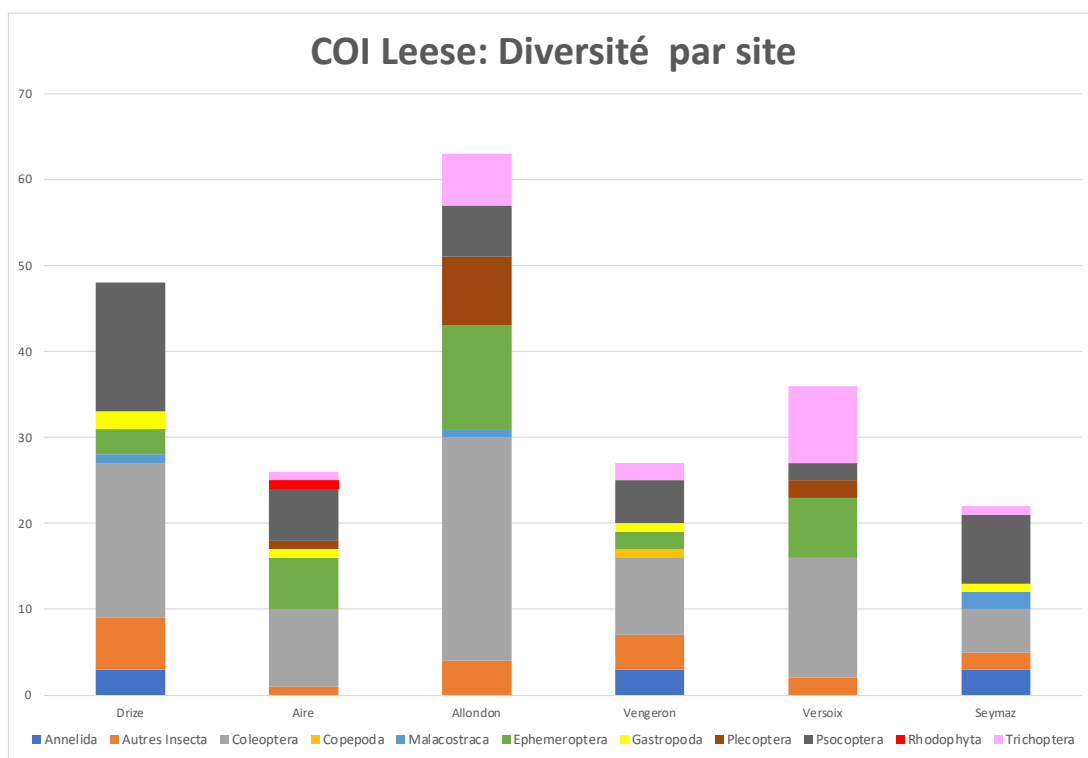


Fig.26. Diversité en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons d'eau (sans diptères)

3.3.6.2. Sédiment

Au total, 35'452 séquences ont été obtenues pour le marqueur COI Leese sur les échantillons de sédiments. 73,5% des séquences ont été assignées. Parmi ces séquences, les diptères puis les annélides (oligochètes) représentent les deux groupes les plus abondants avec respectivement 79% et 20% des séquences qui leur sont assignées (Figure 27). Ces deux groupes présentent aussi la plus grande diversité des ASVs, suivis par la diversité des coléoptères, éphéméroptères et plécoptères. Deux espèces d'ostracodes d'eau douce ont aussi été retrouvées en faible quantité, à savoir *Candona candida* et *Eucypris virens*.

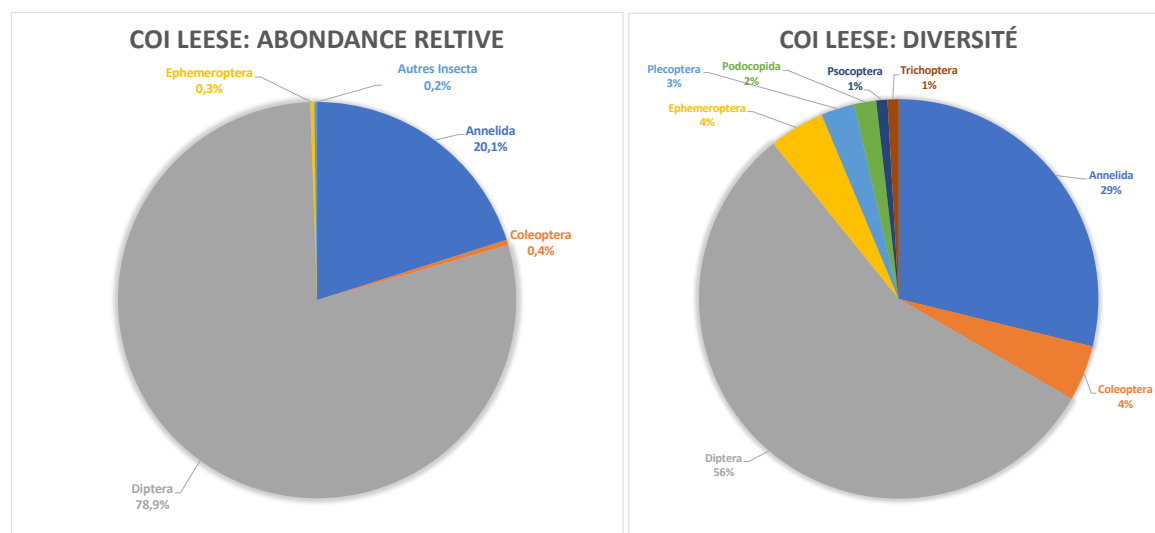


Fig.27. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur COI Leese sur les échantillons de sédiment

Les diptères sont présents partout et dominent tous les sites à l'exception du Vengeron, où ce sont les oligochètes qui dominent à presque 90%. Les proportions des autres groupes que diptères sont présentées dans la Figure 28. Les oligochètes sont le deuxième groupe le plus abondant sur les sites de Drize, Aire, Versoix et Seymaz. Au site d'Allondon, les groupes semblent plus partagées, avec la moitié des organismes représentés par les diptères, suivis par les éphéméroptères, les coléoptères, les plécoptères et finalement les oligochètes.

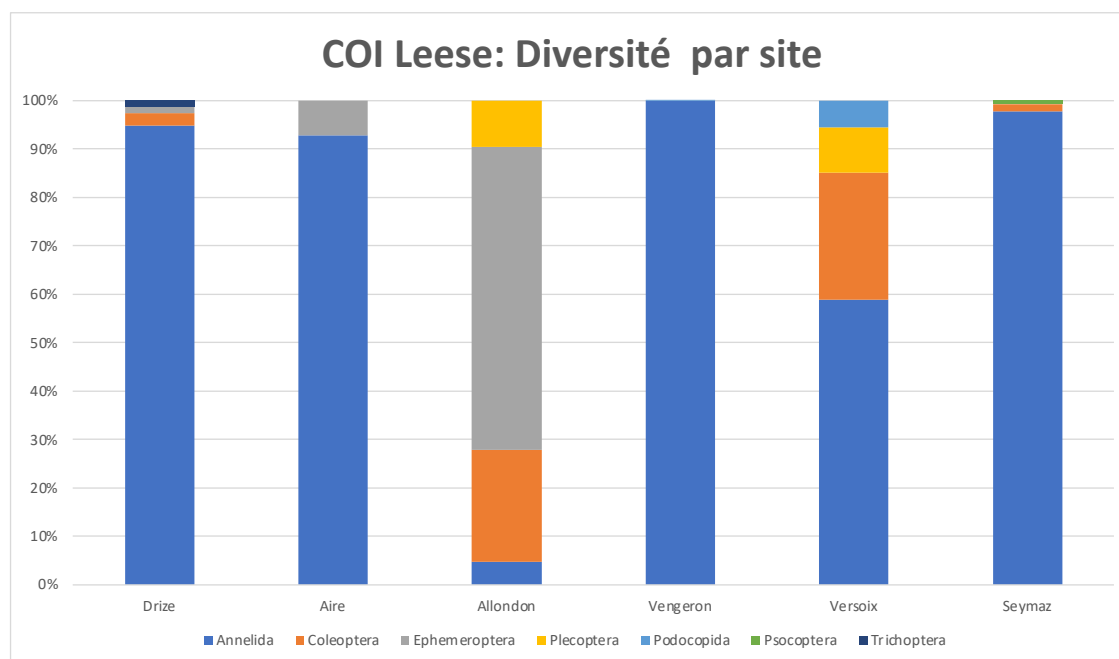


Fig.28. Abondance relative en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons de sédiment (sans diptères)

La diversité des invertébrés est différente entre les sites (Figure 29). Pour chaque site, la majorité des ASVs est assignée aux diptères, à l'exception du Vengeron, où la plus grande diversité est celle des oligochètes.

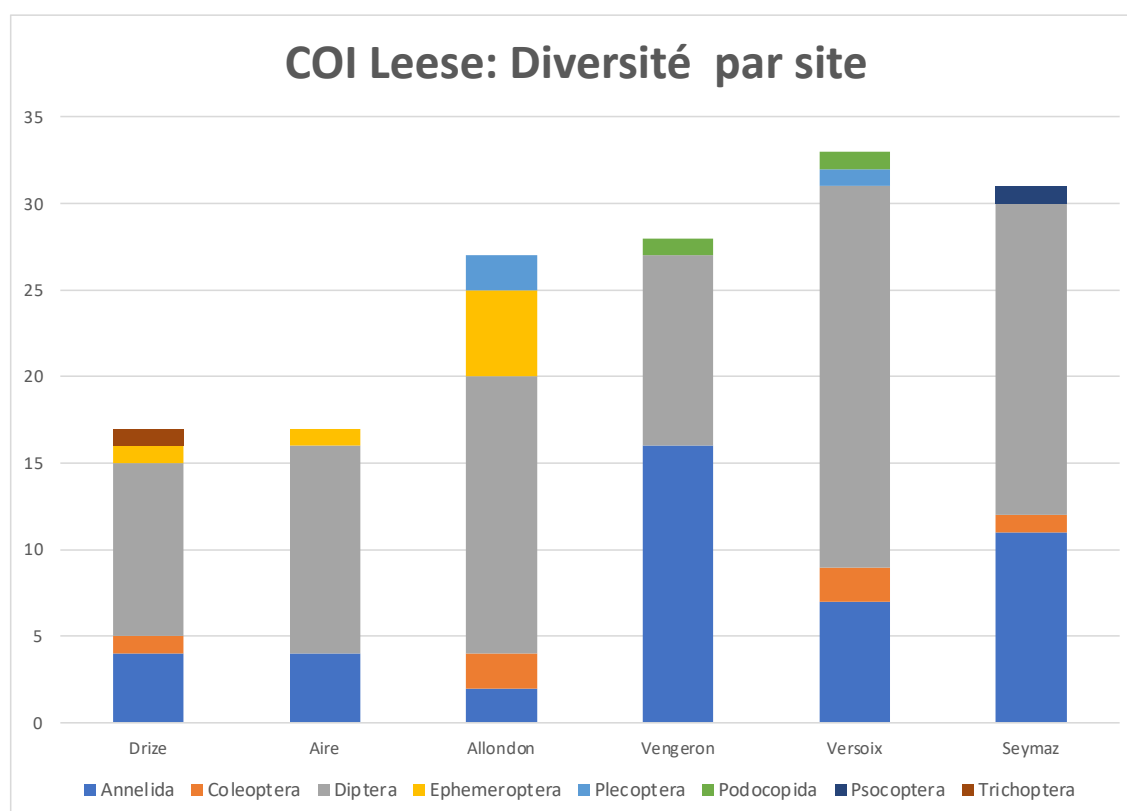


Fig.29. Diversité en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons de sédiment

3.3.6.3. Kick-net

Au total, 155'634 séquences ont été obtenues pour le marqueur COI Leese sur les échantillons kick-net. 84,4% des séquences ont été assignées, parmi ces séquences la majorité a été assignée aux diptères (87%) et aux autres groupes d'insectes tel que des coléoptères, éphéméroptères, trichoptères, psocoptères et plécoptères (Figure 30). De nombreuses espèces d'oligochètes ont aussi été retrouvées, avec une importante diversité en ASV (13%) pour seulement 2% de séquences assignées à ce groupe (Figure 30).

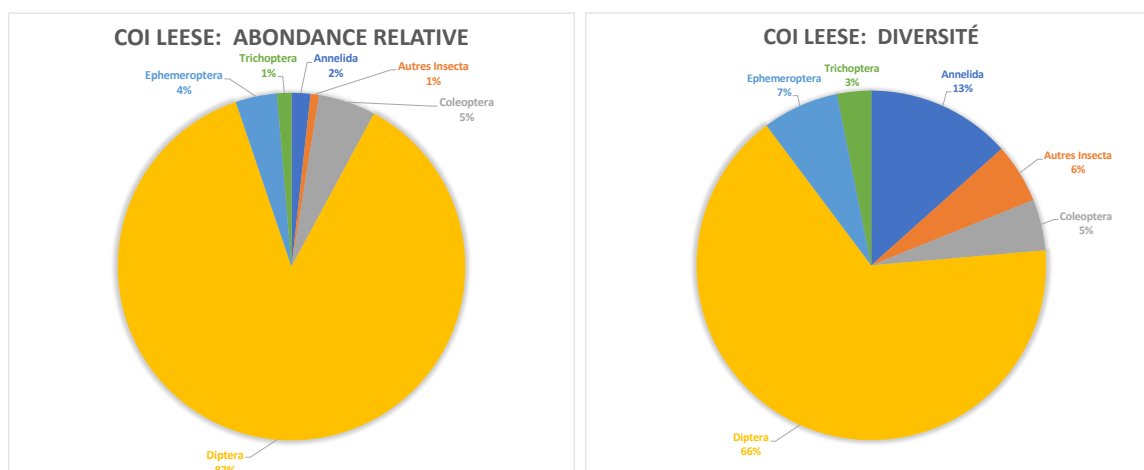


Fig.30. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur COI Leese sur les échantillons de kick-net

Les diptères, présents partout, dominent tous les sites à l'exception de l'Aire, où ce sont les éphéméroptères qui sont les plus abondants (Figure 31).

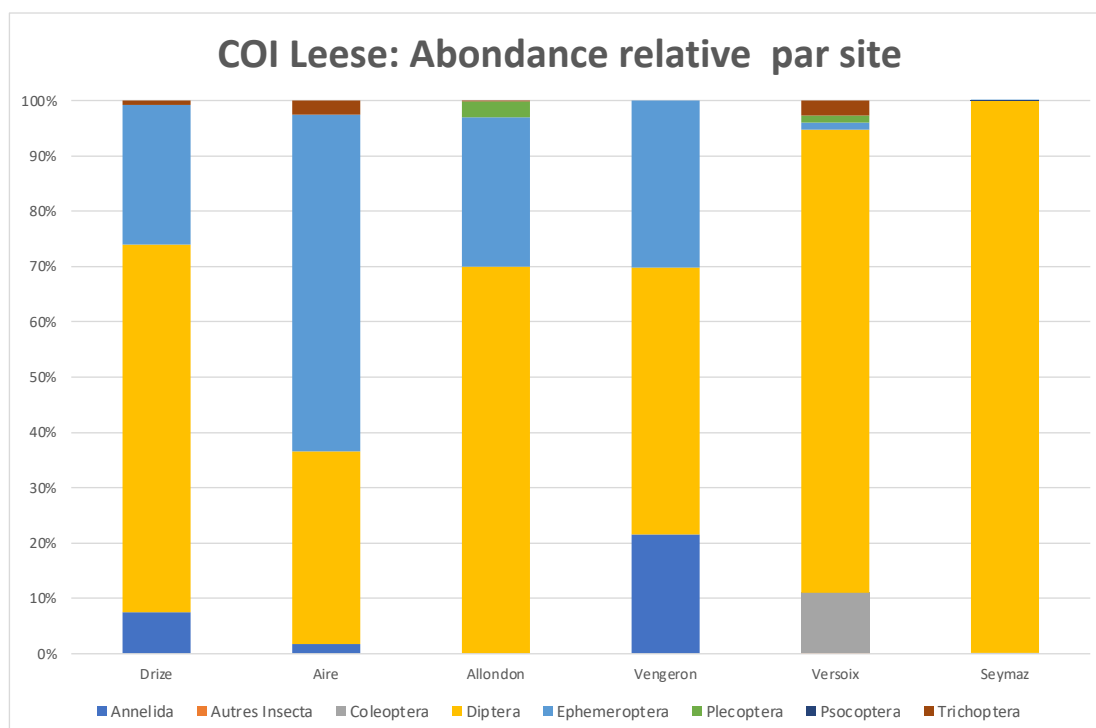


Fig.31. Abondance relative en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons de kick-net

Les diptères sont le groupe avec le plus d'ASVs (Figure 32) et ils sont particulièrement diversifiés à Versoix. Les oligochètes sont présents partout à l'exception du kick-net du site d'Allondon et ils sont particulièrement diversifiés au Vengeron.

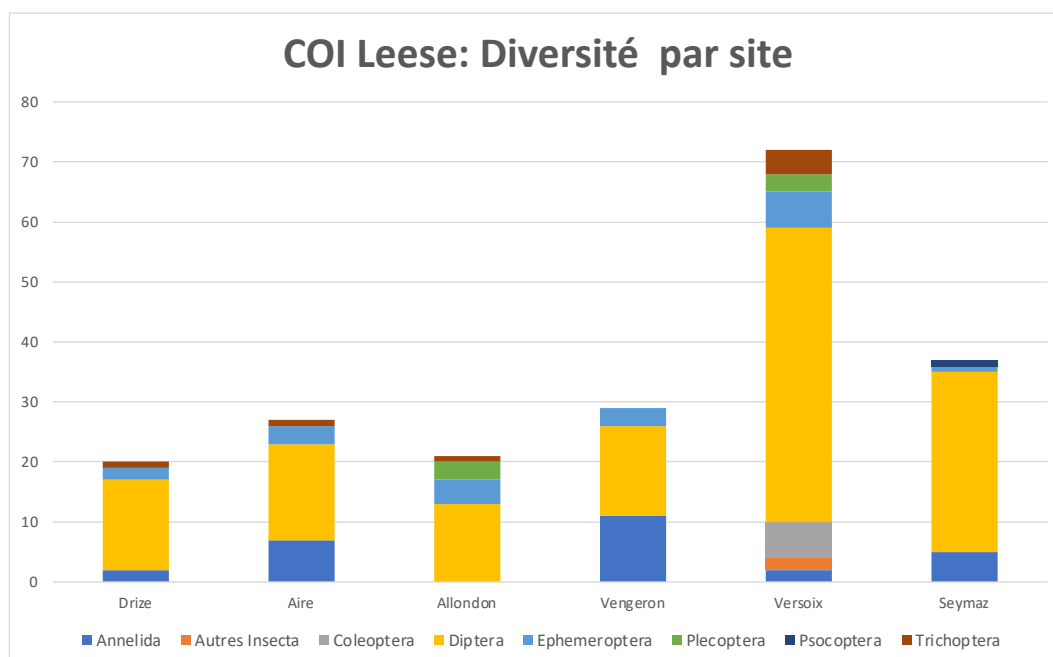


Fig.32. Diversité en nombre d'ASVs par site, du marqueur COI Leese sur les échantillons de kick-net

La comparaison des espèces d'oligochètes et d'insectes présents dans les différents types d'échantillons montre que les oligochètes (Figure 33A) sont particulièrement abondants dans les échantillons de sédiment et de kick-net, tandis que les insectes (Figure 33B) sont, quant à eux, surtout présents dans les échantillons d'eau. La proportion d'insectes trouvés dans l'ADN isolés des sédiments et des kick-net est relativement faible. Ceci peut être expliqué par le mode de vie de ces différents taxa qui expliquerait la prépondérance de leurs traces dans certains milieux.

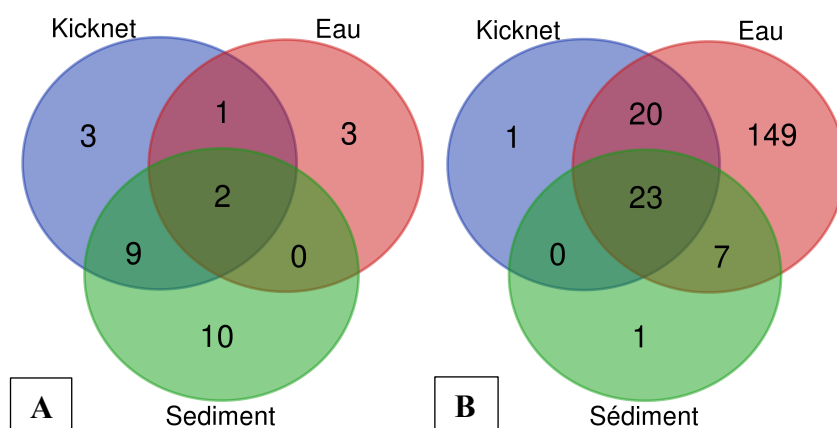


Fig.33. Diagrammes de Venn représentant les espèces d'oligochètes (A) et d'insectes (B) trouvées en commun ou de manière unique, selon la matrice utilisée (eau, sédiment et kick-net) avec le marqueur COI Leese

3.3.7. rbcL diatomées - Biofilm

Pour le marqueur diatomées, 1'515'589 séquences, représentant 254 ASVs, ont été obtenues. 97,2% de ces séquences (87% des ASVs) ont été assignées aux eucaryotes, tandis que les autres séquences sont restées non assignées. Toutes les séquences assignées appartiennent à l'embranchement des Bacillariophyta (diatomées), à l'exception d'une espèce, *Ochromonas sp.*, qui appartient à celui de Chrysophyceae. Au total, 208 ASVs ont été assignés aux espèces de diatomées, avec une majorité appartenant aux Catenulaceae et Achnanthesiaceae. On observe que la diversité en nombre d'ASV ne suit pas l'abondance relative de différents groupes de diatomées (Figure 34). En effet, Thalassiophysales représentent le groupe avec le plus de séquences (33,58%) et ne possèdent qu'une faible diversité en nombre d'ASVs (6%). Naviculales, quant à eux, possèdent le plus de diversité (25%) mais ne représentent que 12,67% des séquences.

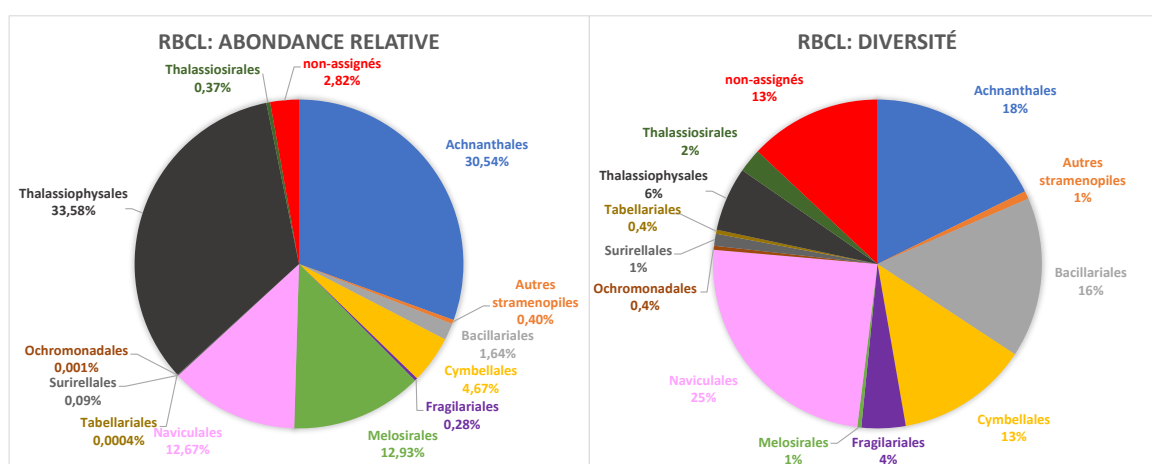


Fig.34. Abondance relative en nombre de séquences et diversité en nombre d'ASVs des données du marqueur rbcL sur les échantillons de biofilm

Les séquences des Thalassiophysales sont très abondantes notamment dans la Drize, l'Aire et le Vengeron, alors que l'Allondon et la Versoix sont dominés par les Achnanthes et la Seymaz par les Melosirales (Figure 35). En termes de diversité des séquences, les différents groupes sont représentés de manière relativement similaire dans tous les sites (Figure 36).

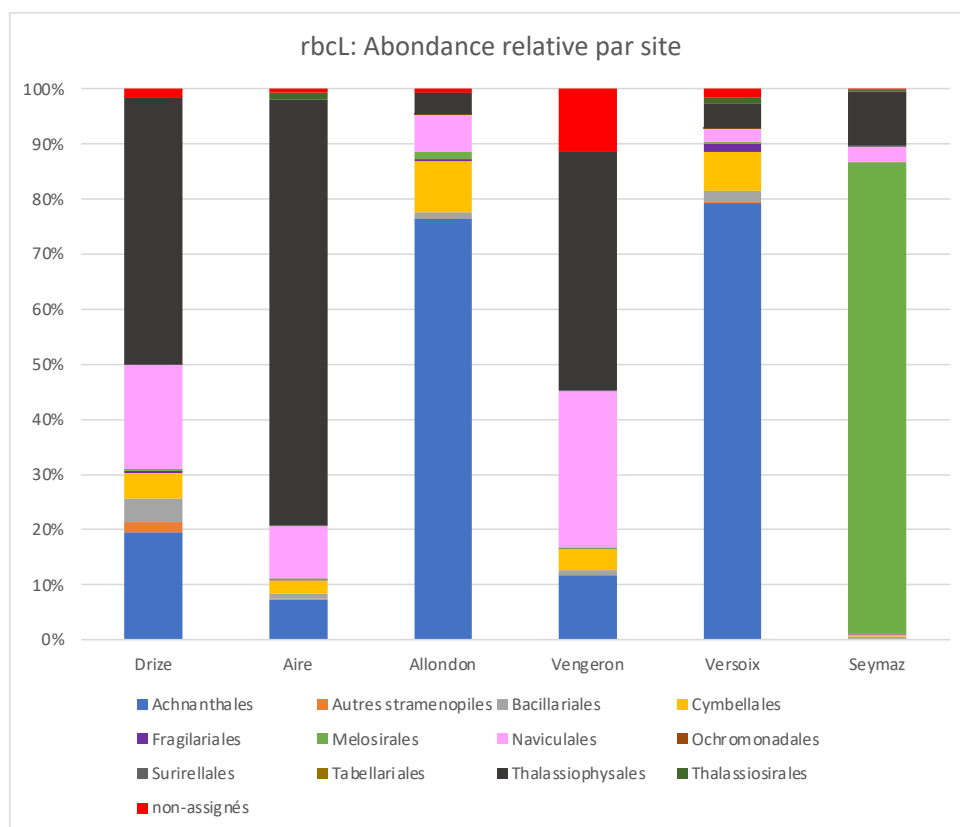


Fig.35. Abondance relative en nombre de séquences par site du marqueur rbcL

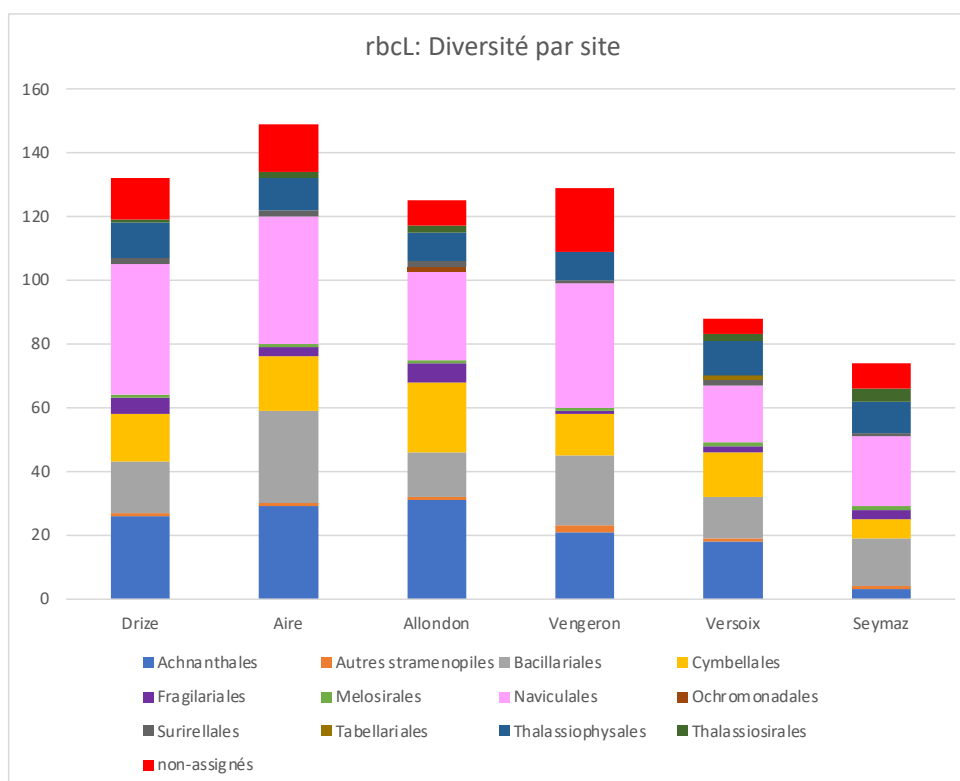


Fig.36. Diversité en nombre d'ASVs par site du marqueur rbcL

3.3.8. 18S V9 eucaryotes - Biofilm

Le marqueur 18S-V9 a été utilisé pour analyser la diversité des eucaryotes présents dans les échantillons de biofilm. Au total, 1'258'782 séquences, représentant 1'144 ASVs, ont été assignés aux eucaryotes. Ces séquences représentent environ 90% du jeu de données. Les séquences restantes ont été, quant à elles, assignées aux bactéries ou sont restées non-assignées.

Parmi les eucaryotes, les groupes les plus représentés sont les straménopiles, qui incluent entre autres les diatomées, les chrysophycées, et les phéophycées. Les autres groupes abondamment représentés sont les métazoaires, les champignons et les alvéolés, dominés par les ciliés (Figure 37).

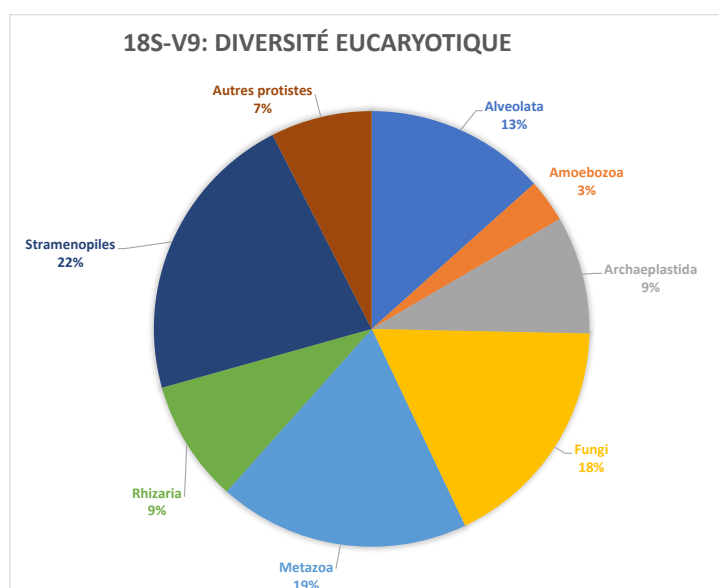


Fig.37. Diversité eucaryotique en nombre d'ASVs selon le marqueur 18S-V9

Les straménopiles sont le groupe le plus abondant à Drize, Aire et Seymaz, alors que l'Allondon et la Versoix sont dominés par les métazoaires et Vengeron par les Archeplastida (Figure 38). Toutefois, en nombre d'ASV, on observe que les échantillons provenant d'Allondon sont beaucoup moins riches (Figure 39). Il semble aussi que la composition taxonomique de ces échantillons est assez différente. En effet, on y observe un grand nombre de séquences de chrysophycées (non-identifiées à l'espèce) qui sont en général assez rares dans d'autres sites.

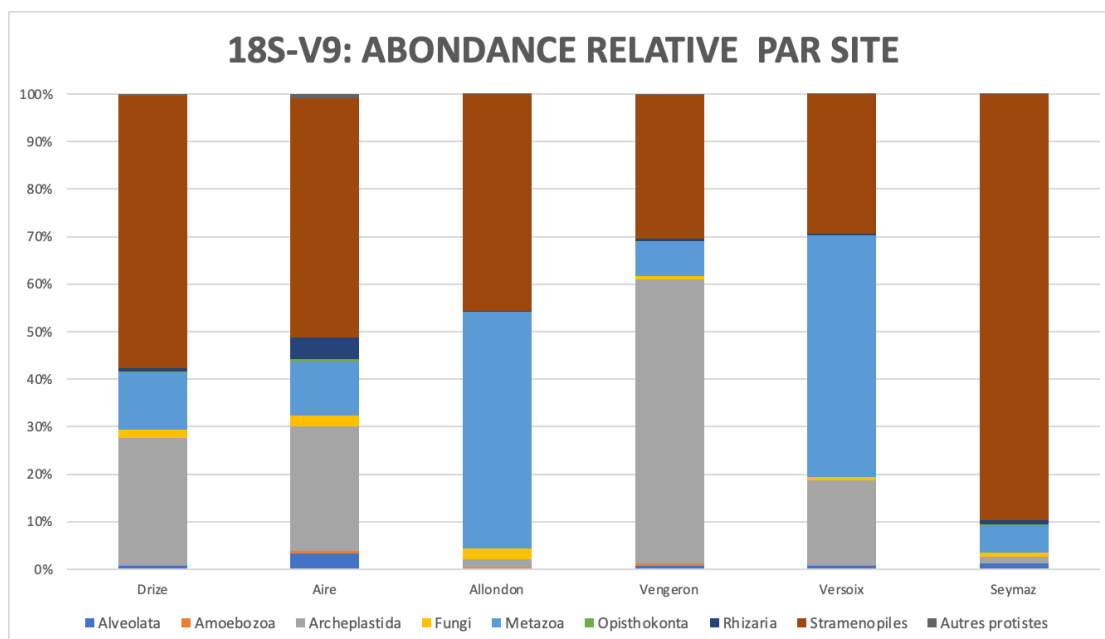


Fig.38. Abondance relative en nombre de séquences par site du marqueur 18S-V9

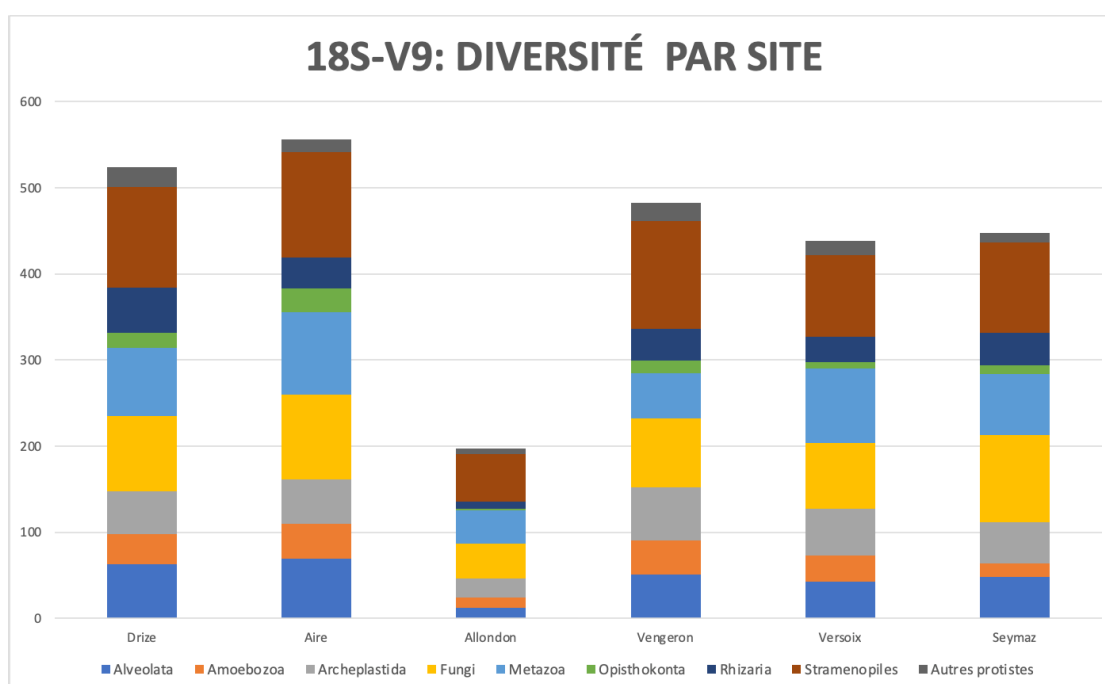


Fig.39. Diversité en nombre d'ASVs par site du marqueur 18S-V9

Environ 65% des séquences des échantillons de biofilm sont représentées par différents groupes d'algues. En nombre de séquences, le biofilm est dominé par les diatomées (*Melosira varians*, *Navicula sp.*, et *Cocconeis pediculus*), mais aussi par une espèce d'algue rouge identifiée comme *Sheathia boryana* (abondante dans la plupart des sites) et des algues phéophycées et chlorophycées non-identifiées. On y trouve aussi beaucoup de séquences assignées aux algues chlorophycées et aux algues brunes (phéophycées). Ces dernières sont dominées par l'espèce *Pleurocladia lacustris*, abondante surtout dans les échantillons de la Drize. Remarquablement, cette algue est considérée comme une espèce rare en Europe

et en Amérique du Nord (Wehr et al. 2013), mais elle semble être présente dans la plupart des cours d'eau genevois.

Plusieurs groupes de métazoaires associés au biofilm ont aussi été identifiés. Parmi ces groupes, les plus diversifiés sont les rotifères, les gastrotriches et les plathelminthes. La plupart des représentants de ces groupes reste toutefois non identifiée à l'espèce. Parmi les 31 ASVs de rotifères, seulement un a pu être identifié au niveau de l'espèce, *Philodina megalotrocha*, avec 100% de similarité. Une situation similaire est observée chez les nématodes et les gastrotriches, avec respectivement 4 ASVs sur 22 identifiés au niveau de l'espèce, et seulement 15 ASVs identifiés au niveau du genre. Pour ce qui est des plathelminthes, la base des données semble être bien plus complète avec 13 ASVs assignés au total à 8 espèces.

Parmi d'autres groupes d'invertébrés, nous avons trouvés deux espèces d'hydrozoaires (*Hydra vulgaris*, *Craspedacusta sowerbii*), un bryzoaire (*Lophopus crystallinus*) et cinq espèces de gastéropodes (impossibles à identifier à cause du manque de résolution du marqueur V9 pour ce groupe). Nous avons trouvé aussi des séquences de tardigrades assignées aux deux genres (*Dactylobiotus* et *Hypsibus*). Ces résultats mettent en avant la grande diversité de ces petits invertébrés dans les cours d'eau mais montrent aussi l'important manque de données sur ces groupes en Suisse.

3.4. Inventaire global de la biodiversité

Globalement, seulement 18% des ASVs de tous les marqueurs confondus ont pu être assignés à l'espèce ou genre, la situation étant très dépendante du marqueur (sa spécificité et sa résolution) et du groupe taxonomique (complétude des bases de données de référence). Il y a des groupes comme les poissons, les oligochètes, les mollusques ainsi que les diatomées (Bacillariophyta) et les insectes, où la majorité des ASVs a pu être assignés (Fig. 40). En même temps, il y a des groupes comme les ciliés, les rotifères ou les cryptophycées, où moins que 30% des ASVs ont été assignés à l'espèce ou au genre.

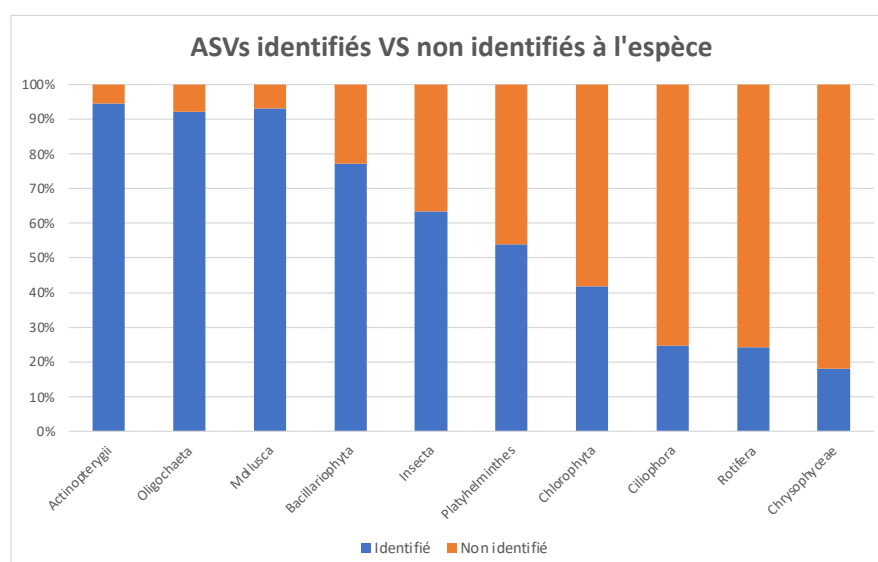


Fig.40. Pourcentages d'ASVs identifiés à l'espèce et non identifiés à l'espèce dans les différents groupes taxonomiques

Si on combine tous les marqueurs utilisés dans cette étude, on trouve la plus grande diversité d'ASVs chez les métazoaires, les straménopiles, et les alvéolées (Figure 41). Les arthropodes présentent le plus de diversité parmi les métazoaires, avec plus de la moitié des ASVs qui leur sont assignés. Parmi les autres groupes les plus riches en ASVs, on retrouve par ordre décroissant les chordés, les oligochètes, les cnidaires, les rotifères et les mollusques (Figure 41).

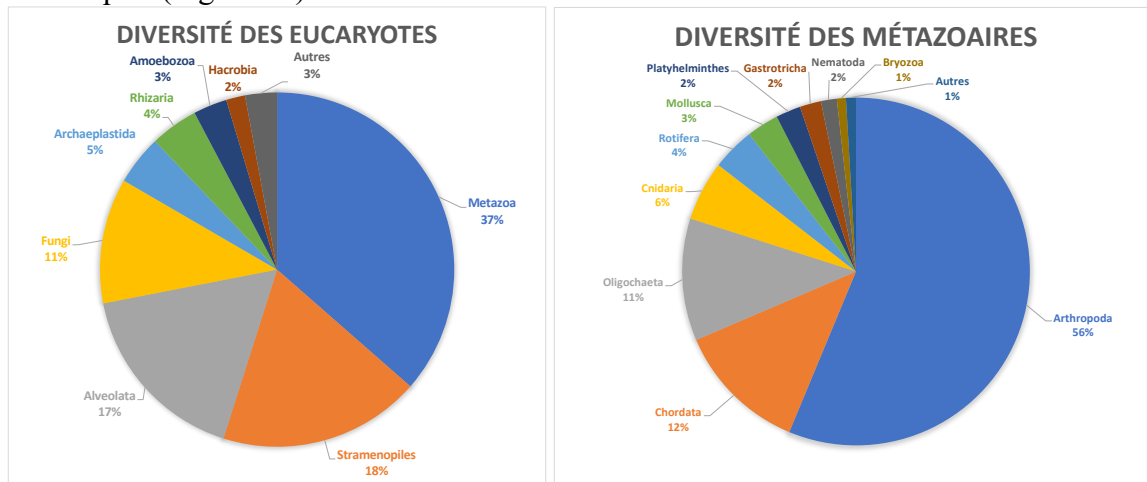


Fig.41. La diversité totale des eucaryotes et des métazoaires en nombre d'ASVs, tous marqueurs confondus

Au total, 1'160 espèces ont été identifiées, correspondant aux 2'828 ASVs. En effet, une espèce peut être représentée par plusieurs ASVs qui correspondent aux séquences uniques de différentes variantes génétiques de chaque espèce.

Si on prend en compte uniquement les espèces aquatiques (en excluant les espèces de poissons marins tous issus de la consommation), on constate que l'assemblage d'eucaryotes est partagé d'une manière plus ou moins égale entre les unicellulaires, comprenant les diatomées et autres algues (52%) et les métazoaires (48%), dominés par les insectes et autres invertébrés (Fig. 42).

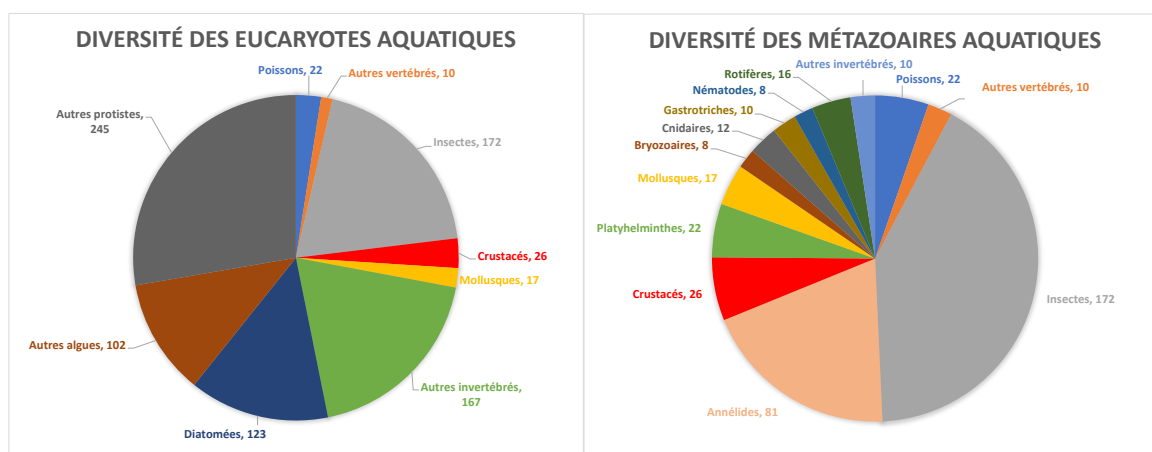


Fig. 42. Diversité totale des eucaryotes aquatiques et des métazoaires aquatiques en nombre d'espèces, tous marqueurs confondus (valeurs dans le Tableau 5A et Tableau 8)

Pour l'analyse de la distribution des différentes espèces sur les sites, seules les occurrences significatives (au-dessus du seuil) ont été prises en compte. Les Tableaux supp. 5 A et B présentent les listes de toutes les espèces identifiées, respectivement aquatiques et non-aquatiques, avec leur présence sur différents sites.

Le nombre d'espèces aquatiques est relativement similaire entre les différents sites, avec une quantité légèrement inférieure pour le Vengeron (Figure 43, Tableau 6A). En effet, Vengeron est un site relativement impacté et ne présente d'ailleurs qu'une seule espèce de poisson. Aire et Versoix sont, quant à eux, les sites présentant le plus de diversité avec respectivement 455 et 453 espèces d'eucaryotes aquatiques.

Les marqueurs que nous avons utilisés permettent accessoirement de détecter aussi les traces des espèces dont l'habitat n'est pas forcément aquatique. La Drize est le site où on a trouvé le plus de ces espèces non-aquatiques (Tableau 5B), avec 114 espèces dont 94 d'arthropodes. La Seymaz est le site présentant le moins d'espèces non-aquatiques détectées (46). Parmi les espèces menacées en Suisse, on peut citer le Lucane Cerf-volant (*Lucanus cervus*), espèce vulnérable détectée dans la Drize et dans l'Aire, le Murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*), une espèce vulnérable de chauve-souris détecté dans la Drize.

A	Eucaryotes aquatiques	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
	Poissons	19	10	7	10	1	16	14
	Autres vertébrés	10	6	2	3	4	4	3
	Insectes	172	48	69	117	49	96	39
	Crustacés	26	11	9	12	11	13	12
	Mollusques	17	8	11	6	8	9	5
	Autres invertébrés	167	88	80	55	63	71	81
	Diatomées	123	81	83	69	75	77	61
	Autres algues	102	38	53	45	47	51	53
	Autres protistes	245	143	139	78	120	114	145
	Total	881	433	453	395	378	451	413

B	Eucaryotes non-aquatiques (sauf humain et les animaux domestiques)	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
	Annélides	1	2			1		
	Arthropodes	232	94	43	90	59	51	28
	Oiseaux	13	5	5	3	8	5	6
	Mammifères	16	9	7	1	12	7	8
	Mollusques	11	3	4	5	5	4	3
	Trypanosomatida	1	1	1	1	1		1
	Total	274	114	60	100	86	67	46

Tab.5. Nombre d'espèces d'eucaryotes aquatiques, sauf poissons marins (A) et non-aquatiques, sauf humain et animaux domestiques (B) identifiés par site, pour tous les types d'échantillons et marqueurs confondus

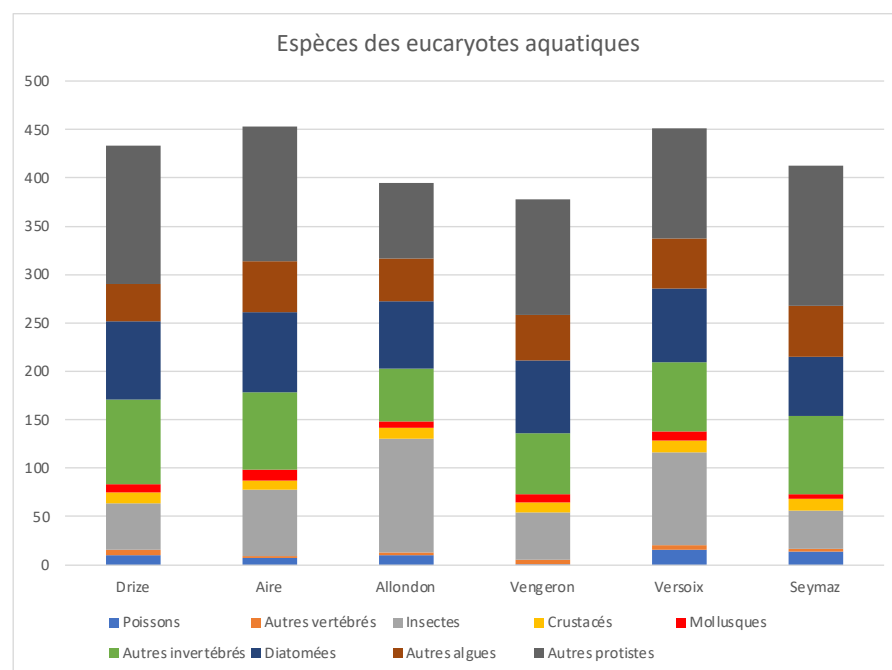


Fig. 43. Nombre d'espèces d'eucaryotes aquatiques par site (valeurs dans le Tableau 6A)

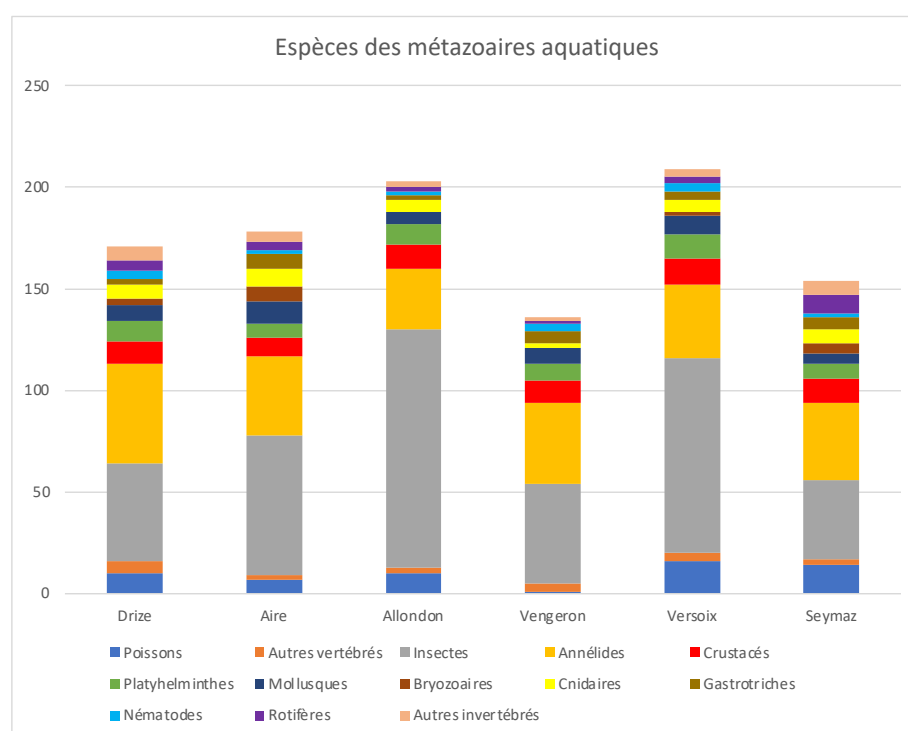


Fig.44. Nombre d'espèces de métazoaires aquatiques par site

Parmi les poissons, on note la présence des espèces au bord de l'extinction, en danger ou vulnérables en Suisse comme truite danubienne (*Salmo labrax*), spirin (*Alburnoides bipunctatus*), Blageon (*Telestes souffia*) et ombre commun (*Thymallus thymallus*) ainsi que des espèces introduites en Suisse: poisson-chat (*Ameiurus nebulosus/melas*), épinoche (*Gasterosteus aculeatus*), perche soleil (*Lepomis gibbosus*), truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*).

Parmi les vertébrés liés aux milieux aquatiques, nous avons détecté aussi deux espèces de mammifères: le castor et le campagnol fouisseur (*Arvicola amphibius*), quatre espèces d'oiseaux : le canard, l'oie, le héron et le cincle plongeur et quatre espèces d'amphibiens, comprenant le triton alpestre (*Ichthyosaura alpestris*), une espèce de grenouille du genre *Rana* et deux espèces vulnérables en Suisse: la salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*) et crapaud commun (*Bufo bufo*).

Les invertébrés aquatiques sont dominés par les insectes, qui restent de loin le groupe le plus diversifié (172 espèces). Les sites d'Allondon et Versoix montrent la plus grande diversité d'espèces d'insectes aquatiques (Tab.6 et Fig. 38). Ce sont les chironomes qui sont représentés par le plus d'espèces/phylotypes dans tous les sites. Une espèce de trichoptère en danger *Sericostoma galeatum* ainsi que des espèces vulnérables en Suisse dont deux espèces d'éphéméroptères *Caenis beskidensis* et *Ecdyonurus dispar* et une espèce de plecoptère *Leuctra hexacantha* ont été identifiées.

Insectes aquatiques	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
Coleoptères	11	2	2	9	1	8	1
Ephemeroptères	26	6	10	23	3	15	2
Odonates	2		1				1
Plecoptères	8		2	8		3	
Trichoptères	25	3	9	14	7	15	4
Chironomidae	77	31	40	45	28	46	25
Autres Diptères	23	6	5	18	10	9	6
Total	172	48	69	117	49	96	39

Tab.6. Nombre d'espèces d'insectes aquatiques, identifiés par site, pour tous les types d'échantillons et marqueurs confondus

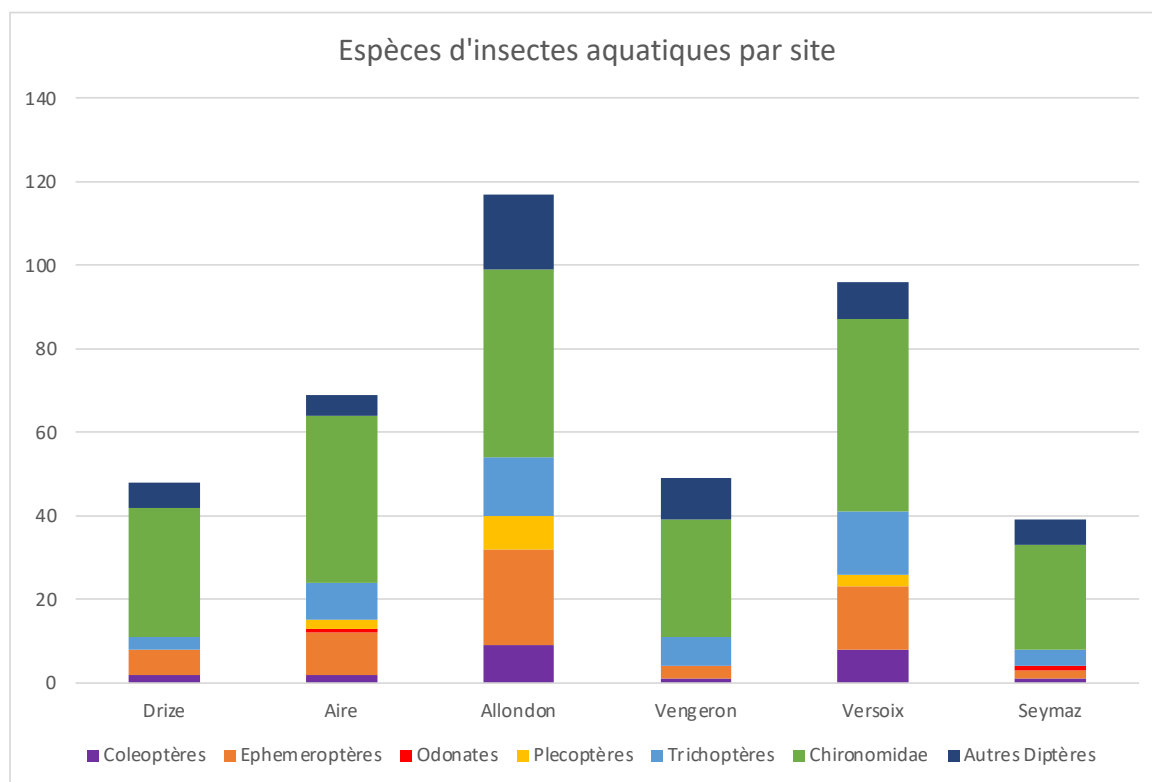


Fig.38. Nombre d'espèces d'insectes aquatiques par site (valeurs dans le Tableau 7)

Parmi d'autres invertébrés (Tab.7 et Fig. 39), ce sont de loin les oligochètes qui dominent avec 80 espèces/phylotypes. Les autres groupes avec plus de 10 espèces détectées comprennent les crustacés (26 espèces), les plathelminthes (22 espèces), les mollusques (17 espèces), les rotifères (16 espèces) et les cnidaires (12 espèces).

Parmi les espèces d'invertébrés non-natives de Suisse, nous avons détecté l'écrevisse signal (*Pacifastacus leniusculus*), deux espèces d'isopodes du genre *Proasellus*, un gastéropode nommé physe voyageuse (*Physella acuta*) et la moule quagga (*Dreissena bugensis*). Cette dernière a été détectée uniquement dans la Versoix et son ADN provient probablement de la population qui a envahie le lac Léman.

Dans nos données, il y a aussi des invertébrés d'importance sanitaire, comme le cnidaire *Tetracapsuloides bryosalmonae* causant la maladie rénale proliférative, retrouvé dans la Drize, l'Aire et la Seymaz. D'ailleurs ce sont les cours d'eau avec le plus grand nombre d'espèces de bryozoaires détecté, le groupe qui joue un rôle d'hôte intermédiaire dans le cycle de vie du *T. bryosalmonae*.

Invertébrés aquatiques sauf Insecta	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
Annélides	81	49	39	30	40	36	38
Arthropodes	3	3	3	2	1	3	3
Bryozoaires	8	3	7			2	5
Cnidaires	12	7	9	6	2	6	7
Crustacés	26	11	9	12	11	13	12
Gastrotriches	10	3	7	2	6	4	6
Mollusques	17	8	11	6	8	9	5
Nématodes	8	4	2	2	4	4	2
Némertiens (vers rubans)	2	2	1	1	1		1
Platyhelminthes	22	10	7	10	8	12	7
Eponges	2		1			1	1
Rotifères	16	5	4	2	1	3	9
Tardigrades	3	2					2
Total	210	107	100	73	82	93	98

Tab.7. Nombre d'espèces d'invertébrés aquatiques (sauf insectes), identifiés par site, pour tous les types d'échantillons et marqueurs confondus

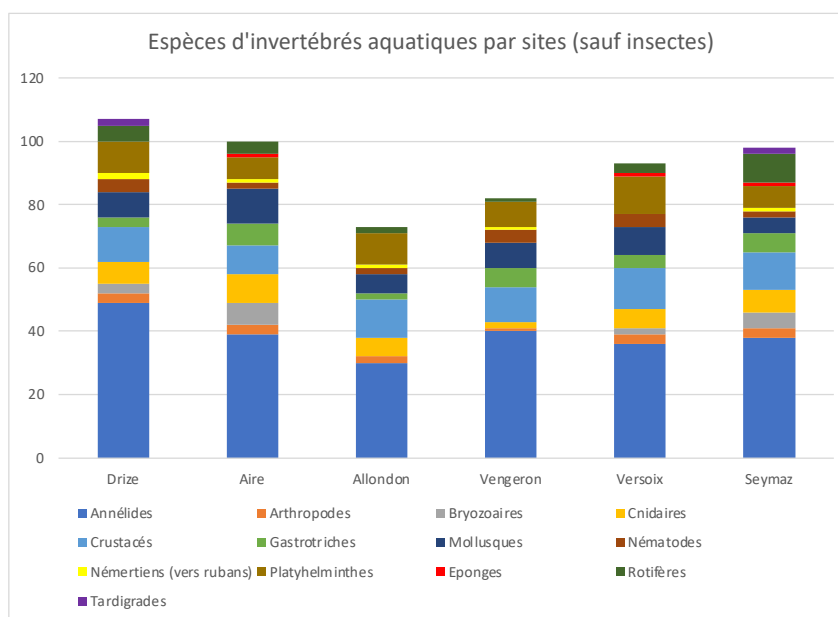


Fig.39. Nombre d'espèces d'invertébrés aquatiques, sauf insectes, par site

A part des métazoaires, nous avons identifié une grande diversité d'espèces d'algues, comprenant surtout les diatomées, les chlorophycées, et les chrysophycées (classées parmi les Ochrophyta). Comme on voit dans le Tableau 8 et sur la Figure 40, les proportions d'espèces d'algues sont relativement similaires entre les sites. Les diatomées sont le groupe le plus diversifié en termes d'espèces (123 espèces identifiées).

Algues	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
Chlorophyta (algues vertes)	60	27	32	25	30	27	36
Diatomées	123	81	83	69	75	77	61
Ochrophyta (algues brun-doré)	30	8	14	17	11	18	13
Rhodophyta (algues rouges)	11	3	7	3	5	6	4
Charophyta (algues vertes)	1				1		
Total	225	119	136	114	122	128	114

Tab.8. Nombre d'espèces d'algues, identifiées par site, pour tous les types d'échantillons et marqueurs confondus

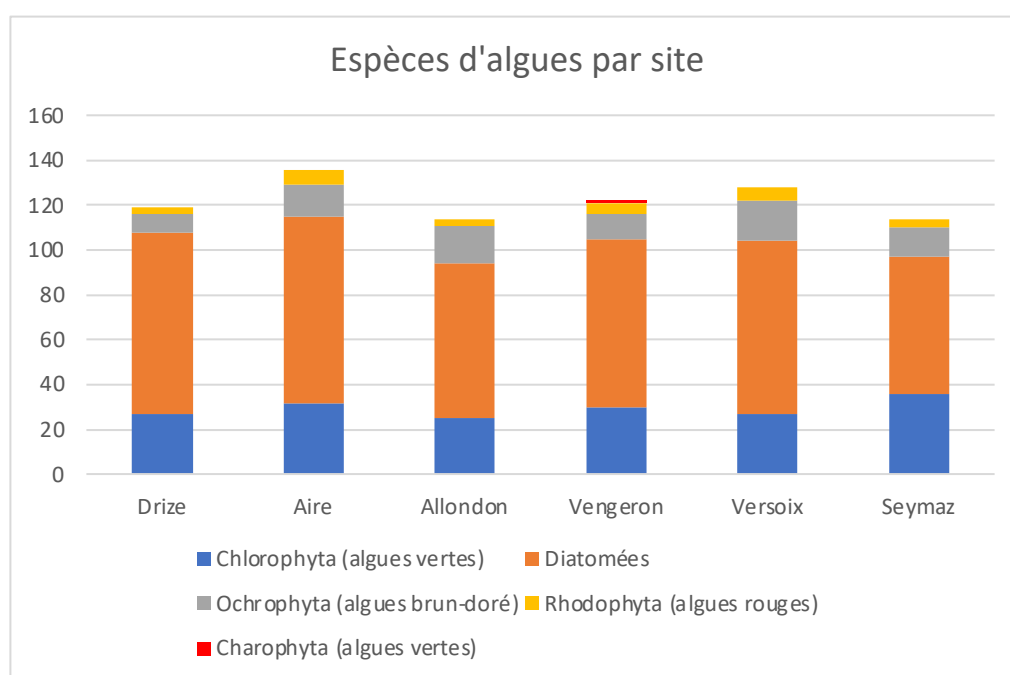


Fig.40. Nombre d'espèces d'algues par site

Parmi d'autres protistes aquatiques, ce sont des ciliés qui dominent en nombre d'espèces (Tab.9 et Fig. 41). Les autres groupes très diversifiés sont des Rhizaria et des amibes. La proportion des groupes est relativement stable entre les sites. Toutefois, le nombre d'espèces varie entre 78 dans le cas d'Allondon et 145 dans le cas de Seymaz. Cette différence peut-être en partie expliquée par une très faible quantité d'espèces de ciliés à Allondon (25 espèces) comparé à la moyenne d'environ 50 pour d'autres sites.

Les protistes pathogènes trouvés dans nos données comprennent les oomycètes du genre *Saprolegnia* détectée dans tous les sites. L'espèce *S. parasitica* responsable de la mycose des poissons a été détectée seulement dans l'Aire. Toutefois, il n'est pas sûr que d'autres variétés génétiques du genre *Saprolegnia* non-identifiées à l'espèce ne sont pas des pathogènes. Un autre oomycète, *Aphanomyces astaci*, l'agent causative de la peste de l'écrevisse n'a pas été détectée dans nos échantillons.

Protistes aquatiques sauf algues	Total	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
Amibes	28	22	16	9	20	13	12
Apicomplexa	2	2	2	1	1	2	2
Apusomonadida	1				1		
Ciliés	102	55	54	25	47	39	65
CRuMs	3	2	3		2	1	3
Dinoflagellés	8	1	2	1		3	1
Excavata	8	5	6	2	4	5	4
Hacrobia	18	8	7	9	8	11	11
Oomycètes	18	13	13	8	9	9	15
Opisthocontes	7	5	7		5	3	4
Rhizaires	41	24	22	20	18	23	23
Stramenopiles (sauf Diatomées)	9	6	7	3	5	5	5
Total	246	143	139	78	120	114	145

Tab.9. Nombre d'espèces de protistes eucaryotiques (sauf algues), identifiés par site, pour tous les types d'échantillons et marqueurs confondus

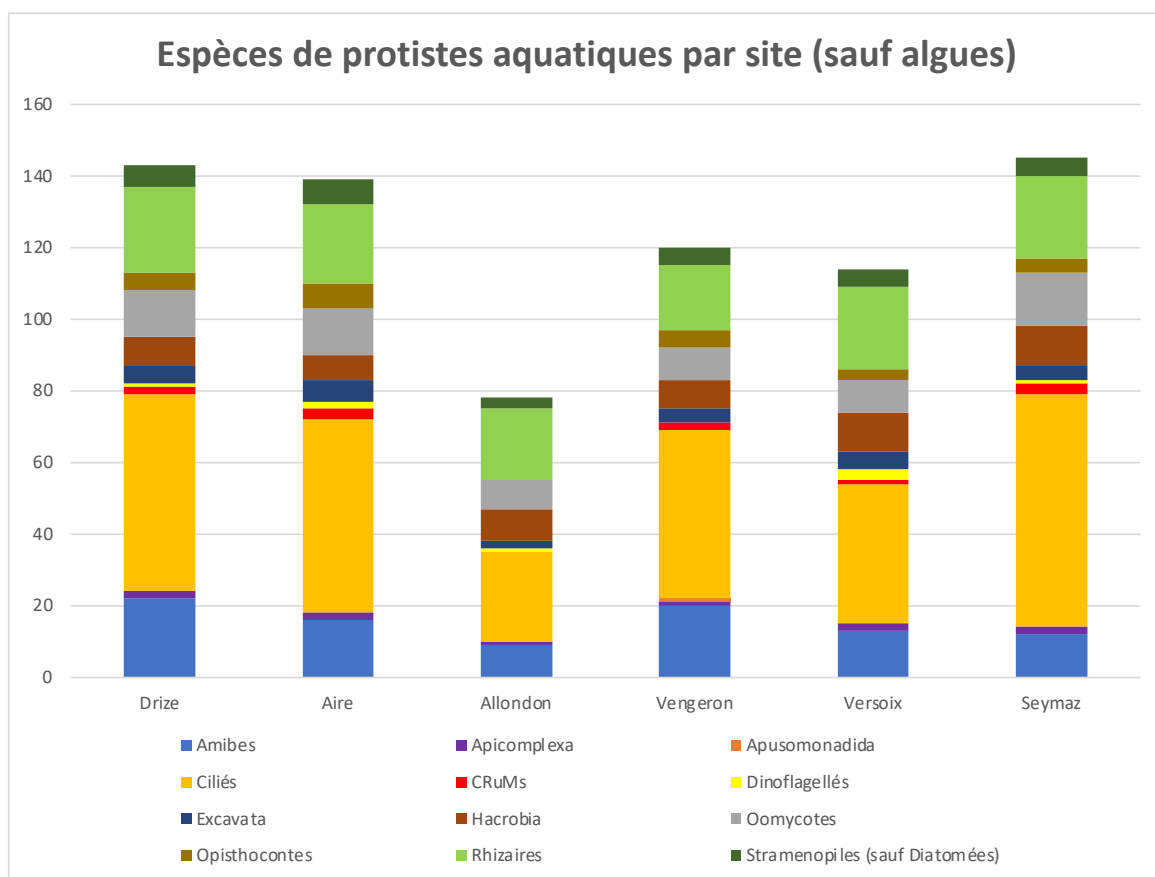


Fig.41. Nombre d'espèces de protistes, sauf algues, par site

4. Discussion et conclusions

Notre étude montre la puissance de l'approche de l'ADN environnemental (ADNe) par rapport aux méthodes conventionnelles basées sur l'observation et identification morphologique des individus. Sur la base de nos résultats on peut mentionner plusieurs avantages de cette approche du point de vue de l'inventaire faunistique.

Premièrement, en utilisant plusieurs marqueurs génétiques nous avons pu obtenir un inventaire global de la biodiversité, comprenant 1'160 espèces d'eucaryotes, représentant différents groupes des vertébrés, des invertébrés, des algues et autres protistes. Tout ça à partir de 18 échantillons d'eau et 36 échantillons de biofilm, sédiment et kick-net, récoltés en seulement 4 jours. Par ailleurs, les mêmes échantillons pourraient servir à analyser les communautés bactériennes, fongiques ou des plantes, en utilisant d'autres marqueurs génétiques.

Deuxièmement, notre approche a permis de mettre en évidence, la diversité des groupes minoritaires qui ne sont pas généralement inclus dans ce type d'inventaire, soit parce qu'ils sont trop rares pour être observés, soit parce que leur identification taxonomique demande une expertise particulière. Ainsi, certains groupes taxonomiques détectés dans nos échantillons (p.ex. les németiens, les plathelminthes, les gastrotriches) n'ont pas été inventoriés en Suisse récemment. La diversité connue d'autres groupes (p.ex. les chironomes, les nématodes) est largement sous-estimée en vue de nos données.

Troisièmement, notre étude a généré, en plus de la liste de 1'160 espèces, aussi plusieurs milliers de séquences uniques (appartenant aux différents groupes taxonomiques) qui n'ont pas pu être identifiées à l'espèce ou au genre. Il y a donc dans nos échantillons une grande diversité d'espèces qui n'attendent qu'à être identifiées grâce au développement des bases de référence (effort de barcoding) et grâce à l'utilisation des marqueurs avec plus de spécificité pour ces groupes (en complément des marqueurs généralistes mais souvent moins résolutifs). Ces développements permettront à l'approche par ADNe de rendre les inventaires futurs encore plus complets.

Il est important de souligner que l'approche ADNe permet aussi d'identifier les espèces qui ne sont pas directement liés à l'habitat aquatique et dont l'ADN se retrouve dans l'eau ou les sédiments de manière occasionnelle, sous forme de pollens, de graines ou via des fragments de tissus, des déjections etc. Ceci concerne notamment la plupart des plantes, des mammifères, des oiseaux, ainsi qu'une partie des insectes. Le nombre de ces espèces terrestres retrouvées dans nos données est estimé à environ 300 espèces, soit environ 25% de la totalité des espèces identifiées. On trouve aussi des espèces qui ne vivent certainement pas dans les cours d'eau genevois, mais dont la présence d'ADN est dû aux activités humaines. C'est principalement le cas des poissons marins trouvés dans les échantillons d'eau de l'Aire et dont l'origine est probablement liée aux activités commerciales d'une poissonnerie.

D'un autre côté, il y a des groupes taxonomiques qui ne sont pas bien représentés dans les échantillons d'ADNe. Ce sont par exemple les crustacées, dont les séquences se retrouvent rarement dans les données du metabarcoding, ce qui s'explique probablement par la présence d'exosquelette qui empêche l'ADN de se disperser facilement dans l'environnement. Dans ce projet, nous avons utilisé un marqueur spécial pour examiner la diversité des écrevisses. Toutefois, même avec ce marqueur, uniquement une espèce, l'écrevisse signal, a pu être détectée. D'autres espèces observées dans le canton de Genève n'apparaissent pas dans nos données.

Pour conclure, cette étude pionnière donne un aperçu des possibilités qu'offre l'ADNe en tant qu'outil d'analyse de la biodiversité aquatique. Pour évaluer son efficacité il est toutefois nécessaire de comparer notre liste d'espèces avec celle établie par des études conventionnelles, basées sur les observations directes et les identifications morphologiques. On peut cependant d'ores déjà constater que l'ADNe offre la possibilité unique d'analyser la diversité cryptique de nombreux groupes taxonomiques, comme les oligochètes aquatiques ou les chironomes. Il permet aussi d'inclure dans les inventaires des taxons qui n'ont jamais été étudiés dans le cadre de biomonitoring jusqu'à présent, malgré le fait qu'ils soient très abondants et diversifiés dans le milieu aquatique (par exemple les micro-invertébrés, les ciliés ou les algues cryptophycées). Nos résultats suggèrent que cet outil est le plus efficace afin d'obtenir un inventaire complet de la biodiversité et d'offrir une vision holistique de l'écosystème aquatique dans toute sa complexité.

5. Références

- Callahan BJ, McMurdie PJ, Rosen MJ, Han AW, Johnson AJ, Holmes SP (2016) DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat Methods*. doi: 10.1038/nmeth.3869
- Esling P, Lejzerowicz F, Pawlowski J (2015) Accurate multiplexing and filtering for high-throughput amplicon-sequencing. *Nucleic Acids Res*:1–12
- Pawlowski J, Apothéloz-Perret-Gentil L, Altermatt F. Environmental DNA: What's behind the term? Clarifying the terminology and recommendations for its future use in biomonitoring. *Mol Ecol*. 2020a Nov;29(22):4258-4264.
- Pawlowski J., Apothéloz-Perret-Gentil L., Mächler E. & Altermatt F. 2020b: Environmental DNA applications in biomonitoring and bio-assessment of aquatic ecosystems. Guidelines. Federal Office for the Environment, Bern. Environmental Studies: 71 pp.
- Vivien R, Apothéloz-Perret-Gentil L, Pawlowski J, Werner I, Lafont M, Ferrari BJD. High-throughput DNA barcoding of oligochaetes for abundance-based indices to assess the biological quality of sediments in streams and lakes. *Sci Rep*. 2020 Feb 6;10(1):2041. doi: 10.1038/s41598-020-58703-2.
- Wehr JD, Stancheva R, Truhn K, and Robert G. Sheath RG (2013). Discovery of the rare freshwater brown alga *Pleurocladia lacustris* in California streams. *Western North American Naturalist* 73(2), pp. 148–157
- Wright ES (2016) "Using DECIPHER v2.0 to Analyze Big Biological Sequence Data in R." *The R Journal*, 8(1), 352-359
- Zinger L, Bonin A, Alsos IG, Bálint M, Bik H, Boyer F, Chariton AA, Creer S, Coissac E, Deagle BE, De Barba M, Dickie IA, Dumbrell AJ, Ficetola GF, Fierer N, Fumagalli L, Gilbert MTP, Jarman S, Jumpponen A, Kauserud H, Orlando L, Pansu J, Pawlowski J, Tedersoo L, Thomsen PF, Willerslev E, Taberlet P, (2019) DNA metabarcoding—Need for robust experimental designs to draw sound ecological conclusions. *Mol Ecol* 28, 1857–1862. <https://doi.org/10.1111/mec.15060>

Matériel supplémentaire

Méthodologie

1.1. Échantillonnage et extraction d'ADN

1.1.1. Eau.

Pour chaque site, plusieurs litres d'eau ont été récoltés dans des bouteilles stériles, à l'aide d'un tube Falcon de 50 ml à usage unique placé au bout d'une perche, en couvrant au maximum la zone prospectée. Les bouteilles ont ensuite été placées dans une glacière contenant des blocs froids afin d'être acheminées au laboratoire d'ID-Gene pour effectuer leur filtration. Tout le matériel réutilisé (perche, bottes etc.) a été soigneusement nettoyé à l'eau de Javel puis à l'éthanol entre chaque site.

Trois filtres Sterivex (Millipore) ont été utilisés par site et un maximum de volume d'eau a été filtré à l'aide d'une pompe à vide, selon la turbidité de l'échantillon (Tab. supp. 1). Après chaque session de filtration, des contrôles négatifs ont été effectués afin de contrôler le processus, en filtrant 500 ml d'eau déminéralisée en suivant le même protocole. Chaque filtre a été fermé et placé dans un sac plastique individuel conservé dans un congélateur à -20°C jusqu'à l'extraction ADN.

L'ADN de chaque filtre a été extrait à l'aide du kit d'extraction d'ADN DNeasy PowerWater Sterivex kit (Qiagen) en suivant les recommandations du fabricant. Les extraits d'ADN ont ensuite été stockés à -20°C jusqu'à l'amplification par PCR.

Site	Date de collection	Volume d'eau filtrée par site (ml)	Volume d'eau filtrée par réplicat (ml)		
			Réplicat 1	Réplicat 2	Réplicat 3
Drize	20.06.22	1500	500	500	500
Aire	21.06.22	1200	400	400	400
Allondon		3900	1300	1300	1300
Vengeron	07.07.22	1750	700	550	500
Versoix		2800	1000	900	900
Seymaz	11.07.22	2900	1250	900	750
Contrôle 1 (Drize)	20.06.22	500			
Contrôle 2 (Aire)	21.06.22	500			
Contrôle 3 (laboratoire)	07.07.22	250			
Contrôle 4 (laboratoire)	11.07.22	250			

Tab. supp.1. Volumes d'eau filtrée par site et par réplicat

1.1.2. Sédiments.

Pour chaque site, cinq litres de sédiment ont été récoltés dans un seau propre à l'aide d'une pelle, en prospectant différents endroits du cours d'eau. Le sédiment a ensuite été mélangé et recouvert d'éthanol pur, puis le seau fermé a été placé dans une glacière contenant des blocs froids afin d'être acheminé au laboratoire. Le matériel réutilisé (pelle, bottes etc..) a été soigneusement nettoyé à l'eau de Javel puis à l'éthanol entre chaque site.

Au laboratoire, afin de collecter l'éthanol et d'en extraire l'ADN, le sédiment a été mélangé de nouveau et laissé une nuit au réfrigérateur à 4°C pour que les particules en suspension retombent et ne bouchent pas le filtre. L'éthanol a ensuite été filtré à l'aide de filtres en microfibres de verres, type GF/F (Whatman). Deux filtres ont été utilisés pour chaque site.

Après avoir laissé sécher les filtres, l'ADN de chaque filtre a été extrait à l'aide du kit DNeasy Blood and Tissue (Qiagen), en suivant les recommandations du fabricant, avec 24h d'incubation du filtre à 56°C dans le tampon de lyse. Les extraits d'ADN ont ensuite été stockés à -20°C jusqu'à l'amplification par PCR.

1.1.3. Kick-net.

Pour chaque site, les invertébrés ont été récoltés à l'aide d'un filet (kick-net) par les scientifiques de l'OCEAU. Les organismes ont ensuite été triés dans un bac rempli de l'eau prélevée dans le site, avant d'être transféré dans un seau propre et recouvert d'éthanol pur. Les seaux fermés ont été placés dans une glacière contenant des blocs froids afin d'être acheminés au laboratoire. Le matériel a été soigneusement rincé et/ou nettoyé à la Javel puis à l'éthanol entre chaque site.

Au laboratoire, afin de collecter l'éthanol et d'en extraire l'ADN, le contenu des seaux a été mélangé puis laissé une nuit au réfrigérateur à 4°C. De la même manière que pour les sédiments, l'éthanol a ensuite été filtré à l'aide de filtres en microfibres de verres, type GF/F (Whatman). Deux filtres ont été utilisés pour chaque site.

Après avoir laissé sécher les filtres, l'ADN de chaque filtre a été extrait à l'aide du kit DNeasy Blood and Tissue (Qiagen), en suivant les recommandations du fabricant, avec 24h d'incubation des filtres à 56°C dans le tampon de lyse. Les extraits d'ADN ont ensuite été stockés à -20°C jusqu'à l'amplification par PCR.

1.1.4. Biofilm.

Le biofilm a été récolté en frottant la surface de galets préalablement sélectionnés, dans une assiette à usage unique avec une brosse à dents à usage unique. Pour chaque site, 1 ml de biofilm a été transféré à l'aide d'une pipette à usage unique, dans deux tubes contenant un tampon de conservation. Les tubes ont été placés dans un sac plastique labélisé et conservés dans une glacière contenant des blocs froids avant d'être acheminés au laboratoire.

Après centrifugation des échantillons, le surnageant a été retiré et l'extraction ADN a été effectuée à partir du culot des échantillons. L'ADN a été extrait à l'aide du kit DNeasy PowerBiofilm (Qiagen) en suivant les recommandations du fabricant. Les extraits d'ADN ont ensuite été stockés à -20°C jusqu'à l'amplification par PCR.

1.2. Amplification par PCR et séquençage haut-débit.

Huit marqueurs génétiques ont été utilisés au total pour les amplifications PCR (Tableau supp. 2). Les échantillons d'eau ont été amplifiés avec 6 marqueurs visant les poissons (16S-Poisson), les vertébrés et les mollusques (16S-Ver/Moll = 16S-Mix), les crustacés décapodes (16S-Déca), les invertébrés (COI Leray et COI Leese) ainsi que les algues et autres protistes (18S-V4). Les échantillons de sédiments et de kick-net ont été amplifiés avec deux variantes du marqueur COI (COI Leray et COI Leese), tandis que les échantillons de biofilm ont été amplifiés avec un marqueur spécifique pour les diatomées (rbcL) et un marqueur universel eucaryotes (18S-V9).

Échantillon	Taxa visés	Marqueurs	Réplicats par site	Nombre d'échantillons
Eau	Vertébrés, invertébrés, protistes	16S-Poisson, 16S-Ver/Moll, 16S-Déca, COI Leray, COI Leese, 18S V4	3 + contrôles	18 + 4
Biofilm	Diatomées, eucaryotes	rbcL, 18S V9	2	12
Kick-net	Insectes	COI Leray, COI Leese	2	12
Sédiment	Oligochètes	COI Leray, COI Leese	2	12

Tab.supp.2. Données relatives aux échantillons et marqueurs

Les séquences d'amorces et les conditions PCR utilisées sont indiquées dans le tableau supp. 3. Pour chaque échantillon, les réactions PCR ont été effectuées en utilisant des amorces taguées, c'est à dire couplées à une courte séquence de 8 ou 9 nucléotides (tag). Ces combinaisons uniques de tag permettent le multiplexage des produits PCR dans une ou plusieurs librairies de séquençage (Esling et al. 2015).

Selon les paires d'amorces utilisées et la nature de l'échantillon (eau, sédiment, kick-net ou biofilm), plusieurs réplicats de PCR ont été effectués avec une quantité variable d'ADN (Tab. Supp. 4). Les décapodes étant des organismes relâchant peu d'ADN dans leur environnement, nous avons facilité la détection de ces traces en effectuant une ré-amplification PCR avec, pour matrice, l'ADN de la première amplification. Sept réplicats PCR ont été effectués pour chacune des amplifications avec le marqueur 16S-Déca, avec 4 µl de substrat pour la première amplification et 2 µl pour la ré-amplification. Certains échantillons de sédiment et kick-net n'ont pas amplifiés tout de suite, probablement à cause d'une présence trop importante d'inhibiteurs de PCR, et ont nécessité une dilution de deux fois. Finalement, pour chaque échantillon, un contrôle négatif de PCR a été réalisé et tous les réplicats de PCR ont été regroupés et quantifiés par électrophorèse capillaire à l'aide de l'instrument QIAxcel (Qiagen).

Les librairies de séquençage ont été réalisées en regroupant des concentrations équimolaires des produits PCR. Elles ont ensuite été purifiées à l'aide du kit de purification de produits PCR High Pure PCR Product Purification kit (Roche Applied Science). La préparation des librairies a été effectuée à l'aide du kit Illumina TruSeq® DNA PCR-Free Library Preparation Kit. Elles ont ensuite été quantifiées par qPCR à l'aide du kit de quantification de librairie KAPA et séquencées sur un instrument MiSeq Illumina avec le système de séquençage paired-end. En fonction du marqueur, différents nombres de cycles ont été effectués : 300 cycles (MiSeq Reagent Kit v2) pour les marqueurs 18S V9 et COI Leese, 500 cycles (MiSeq Reagent Kit v2) pour le marqueur 16S-Fish, et 600 cycles (MiSeq Reagent Kit v3) pour les autres marqueurs.

Amorce	Sequence 5' – 3'	Conditions PCR		
Marqueur 16S Vertébrés et Mollusques		Amplification		
16Smix-F	GCCTGTTTAHCAAAACATSGY	95°	5'	
16Smix-R	CTCSAHRGGGTCTTCTYGTCTT	95°	30"	
		52°	30"	40X
		72°	45"	
		72°	5'	
Marqueur 16S Poissons		Amplification		
16SFish-Shaw	CGAGAAGACCCTDTGRAGCTTWAG	95°	10'	
16SFish-DiBat	CGCTGTTATTATCCCTDGRGTAAC	95°	30"	
		60°	30"	45X
		72°	1'	
		72°	10'	
Marqueur 16S Décapodes		Amplification		
MiDeca-F	GGACGATAAGACCCTATAAA	95°	3'	
MiDeca-R	CGCTGTTATCCCTAAAGT	95°	30"	
		55°	30"	40X/25X
		72°	30"	
		72°	5'	
Marqueur COI universel (Leray)		Amplification		
COX-F	GGWACWGGWTGAACWGTWTAYCCYCC	95°	5'	
COX-R	TAAACTTCAGGGTGACCAAAARAAYCA	95°	10"	
		-1°/cycle	62°-47°	30"
			72°	1'
		95°	10"	
		46°	30"	35X
		72°	1'	
		72°	2'	
Marqueur COI Macroinvertébrés (Leese)		Amplification		
fwHf2	GGDACWGGWTGAACWGTWTAYCCHCC	95°	5'	
EPTDr2n	CAAACAAATARDGGTATTCGDTY	95°	15"	
		-1°/cycle	60°-50°	30"
			72°	30"
		95°	15"	
		50°	30"	35X
		72°	30"	
		72°	5'	
Marqueur 18S V4		Amplification		
V4F	CCAGCASCYGCAGTAATTCC	95°	5'	
V4R	ACTTTCGTTCTTGATYRA	95°	30"	
		57°	45"	10X
		72°	1'	
		95°	30"	
		47°	45"	25X
		72°	1'	
		72°	2'	
Marqueur 18S V9		Amplification		
V9F	TTGTACACACCGCCC	94°	3'	
V9R	CCTTCYGCAGGTTACCTAC	94°	30"	
		57°	60"	30X
		72°	90"	
		72°	10'	
Marqueur rbcL		Amplification		
rbcLF	AGGTGAARYWAAAGGTTCTWTAYTTAAA	95°	5'	
rbcLR	CCTTCTAATTACCWACWACWG	95°	1'	
		54°	1'	35X
		72°	1'	
		72°	5'	

Tab.supp.3. Amorces et programmes PCR

Marqueur	Type d'échantillon	Réplicats de PCR	Volume d'extrait d'ADN (µl) utilisé dans une réaction de PCR de 25 µl
16S-Fish	Eau	7	1
16S-Ver/Moll	Eau	7	2
16S-Deca	Eau	7 et 7	4 puis 2
COI Leray	Eau	3	2
	Sédiment		1 ou 2
	Kick-net		1 ou 2
COI Leese	Eau	4	3
	Sédiment		1
	Kick-net		
18S V4	Eau	3	2
rbcL	Biofilm	3	1
18S V9			

Tab.supp. 4. Conditions PCR

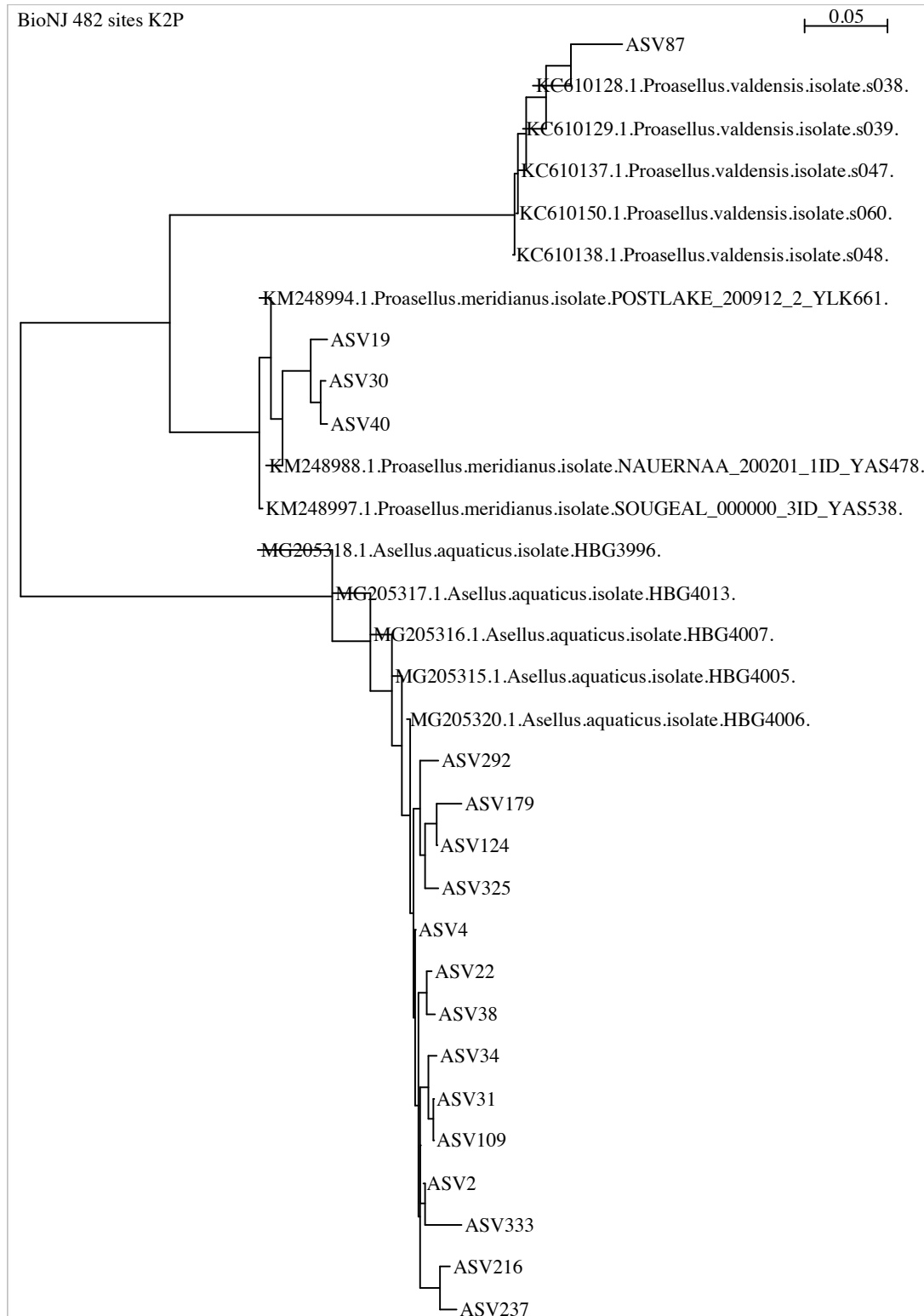
1.3. Analyse des données de séquençage haut-débit.

Les séquences brutes en format FASTQ ont été filtrées selon leur qualité, retirant toutes les séquences d'une qualité moyenne inférieure à 30, ainsi que les séquences contenant des bases ambiguës. Ces conditions extrêmement strictes permettent de ne conserver que les séquences de très bonne qualité. L'assemblage des séquences a ensuite été effectué ainsi que le retrait des chimères (artéfacts de PCR). Les séquences ont finalement été regroupées en séquences uniques correspondants aux variants de séquence d'amplicon (Amplicon Sequence Variants - ASVs) à l'aide de l'algorithme dada2 du R package (Callahan et al., 2016). L'assignation taxonomique a finalement été réalisée contre une base de données locale en utilisant l'algorithme decipher R package (Wright, 2016). Pour permettre l'assignation taxonomique de certains ASVs restés indéterminés, les séquences ont été comparées dans un second temps contre la base de données publique GenBank NCBI.

Au cours du séquençage, il est connu qu'un problème de saut de tag (tag jump) peut se produire et assigner certaines séquences très abondantes au mauvais échantillon. En fonction du pourcentage d'abondance relative d'un ASV dans les échantillons et en partie grâce aux séquences retrouvées dans les contrôles négatifs, nous avons mis en place un seuil restrictif minimum pour les données de chaque marqueur. Ainsi, si un ASV très abondant dans le jeu de donnée n'est retrouvée qu'en infime quantité dans un échantillon, on peut alors estimer qu'il n'est pas réellement présent et que cela est dû à une erreur d'affectation (tag jump). Les occurrences sous le seuil sont surlignées en rouge dans les tableaux d'ASVs (Fichier Excel annexe 2).

Fig.supp. 1. Arbre phylogénétique des espèces de Crustacés (16S-Décapodes)

Seaview BioNJ_tree Wed Nov 23 15:28:28 2022



Tab.supp.5A. Liste de toutes les espèces aquatiques identifiées,
avec leur présence sur différents sites

Taxon	Drize	Aire	Allondon	Vengeron	Versoix	Seymaz
Eukaryota aquatiques						
Metazoa						
Annelida						
Hirudinea						
Rhynchobdellida						
Glossiphoniidae						
Helobdella stagnalis				Ven		
Oligochaeta						
Crassiclitellata						
Aeolosomatidae						
Aeolosoma sp.				Ven		
Glossoscolecidae						
Glossoscolex paulistus	Dri			Ven		
Lumbricidae						
Aporrectodea longa						Sey
Aporrectodea nocturna				Ven		
Dendrodrilus rubidus LC1	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Eiseniella tetraedra LC2	Dri	Air	All			Sey
Eiseniella tetraedra LC3	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Eiseniella tetraedra LC4			All		Ver	
Lumbricidae sp. (Eiseniella tetraedra espèce cryptique?)	Dri				Ver	
Enchytraeida						
Enchytraeidae						
Enchytraeidae sp. E27					Ver	
Enchytraeidae sp. E33				Ven		Sey
Enchytraeidae sp. E54	Dri	Air				
Enchytraeidae sp. E57				Ven		Sey
Fridericia bulba						Sey
Globulidrilus riparius E11				Ven		
Henlea perpusilla E16					Ver	
Henlea perpusilla E43					Ver	
Henlea ventriculosa E48	Dri					
Lumbricillus sp.		Air				
Cernosvitoviella aggtelekiensis E19			All			
Cernosvitoviella aggtelekiensis E9					Ver	
Cernosvitoviella minor E8					Ver	
Cernosvitoviella pusilla E66					Ver	
Lumbriculida						
Lumbriculidae						
Lumbriculidae sp. LL11		Air			Ver	
Lumbriculidae sp. LL12					Ver	
Lumbriculidae sp. LL3	Dri	Air	All	Ven	Ver	

Lumbriculidae sp. LL3
 Lumbriculidae sp. LL5
 Lumbriculidae sp. LL6
 Lumbriculus variegatus
 Lumbriculus variegatus LL2
 Stylodrilus heringianus LL3
 Stylodrilus lemani LL4
 Stylodrilus sanguineus LL8

				Ver	
Dri			Ven		
	Air				
		All			
Dri			Ven		
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
				Ver	

Tubificida

Naididae

Aulodrilus plurisetia
 Aulodrilus plurisetia T4
 Aulodrilus plurisetia T42
 Branchiura sowerbyi T5
 Chaetogaster diaphanus N1
 Chaetogaster diastrophus
 Chaetogaster diastrophus N19
 Chaetogaster diastrophus N23
 Chaetogaster sp. N20
 Dero furcata
 Ilyodrilus templetoni
 Limnodrilus claparedianus T22
 Limnodrilus hoffmeisteri T16
 Limnodrilus hoffmeisteri T17
 Limnodrilus hoffmeisteri T18
 Limnodrilus hoffmeisteri T19
 Limnodrilus hoffmeisteri T21
 Limnodrilus sp.
 Lophochaeta ignota T6
 Naidinae sp.
 Naidinae sp. N24
 Nais alpina N8
 Nais communis N9
 Nais elinguis N4
 Nais sp.
 Nais stolci pardalis N12
 Ophidonais serpentina N5
 Paranais litoralis
 Potamothrix bavaricus
 Potamothrix bavaricus T7
 Potamothrix heuscheri T31
 Potamothrix moldaviensis
 Potamothrix moldaviensis T30
 Potamothrix sp.
 Potamothrix vejdvskyi T29
 Pristina jenkiniae P1
 Pristina sp.
 Psammoryctides barbatus

Dri			Ven		
Dri	Air	All	Ven		
Dri			Ven		
	Air				
Dri	Air	All	Ven	Ver	
Dri	Air		Ven	Ver	
Dri	Air	All	Ven		Sey
Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
				Ver	
Dri					
	Air	All	Ven		
	Air				
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven		Sey
Dri	Air	All	Ven		Sey
			Ven		
			Ven		Sey
Dri	Air	All		Ver	Sey
Dri		All		Ver	
Dri		All		Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri		All	Ven		Sey
Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Dri				Ver	Sey
Dri					Sey
Dri					
Dri	Air	All		Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri					Sey
	Air				Sey
	Air				Sey
Dri	Air				
	Air	All		Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri					
	Air				Sey

Psammoryctides barbatus T8	Dri	Air			Ver	Sey
Stylaria lacustris N16	Dri	Air	All			Sey
Tubifex tubifex	Dri			Ven		
Tubifex tubifex T10	Dri		All	Ven		Sey
Tubifex tubifex T11				Ven		Sey
Tubifex tubifex T12	Dri	Air		Ven		
Tubifex tubifex T9	Dri			Ven	Ver	Sey
Tubificinae sp.						Sey
Tubificinae sp. T1	Dri	Air				
Tubificinae sp. T15	Dri	Air		Ven		Sey
Tubificinae sp. T2	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Tubificinae sp. T3	Dri	Air	All	Ven		Sey
Tubificinae sp. T32			All			
Vejdovskya intermedia N7	Dri					
Arthropoda						
Arachnida						
Trombidiformes						
Sperchontidae						
Sperchon clupeiifer	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Sperchon violaceus	Dri	Air	All		Ver	Sey
Sperchonopsis phreaticus	Dri	Air			Ver	Sey
Branchiopoda						
Diplostraca						
Chydoridae						
Acroperus harpae			All			
Chydorus brevilabris					Ver	Sey
Copepoda						
Cyclopoida						
Cyclopidae						
Acanthocyclops sp.			All			Sey
Cyclops sp.				Ven		
Eucyclops serrulatus	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Macrocylops albidus	Dri	Air	All			Sey
Paracyclops chiltoni				Ven	Ver	Sey
Harpacticoida						
Ameiridae						
Nitokra hibernica	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Canthocamptidae						
Attheyella crassa	Dri					
Bryocamptus pygmaeus	Dri					
Itunella muelleri	Dri				Ver	
Insecta						
Coleoptera						
Dytiscidae						
Oreodytes sanmarkii			All		Ver	
Platambus maculatus					Ver	

Elmidae						
Elmis maugetii			All		Ver	
Elmis sp.					Ver	
Esolus angustatus			All			
Esolus parallelepipedus			All		Ver	
Limnius perrisi	Dri	Air	All		Ver	
Limnius volckmari	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Riolus subviolaceus			All		Ver	
Gyrinidae						
Orectochilus sp.			All			
Orectochilus villosus			All			
Diptera						
Chironomidae						
Ablabesmyia longistyla T65		Air				Sey
Brillia bifida T101	Dri	Air	All	Ven		Sey
Brillia longifurca T126	Dri	Air	All		Ver	Sey
Chironomidae T122	Dri			Ven	Ver	Sey
Chironomidae T132					Ver	
Chironomidae T69	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Chironomus bernensis T86	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Chironomus cingulatus/agilis					Ver	
Chironomus luridus T124	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Chironomus nuditarsis T125		Air				
Chironomus riparius T85		Air		Ven		
Cladotanytarsus mancus		Air				
Cladotanytarsus vanderwulpi		Air				
Conchapelopia hittmairorum GT9		Air	All			
Conchapelopia melanops T4	Dri	Air		Ven		Sey
Conchapelopia sp.			All			
Cricotopus annulator T148						Sey
Cricotopus bicinctus T3		Air	All	Ven		
Cricotopus sp. T75			All		Ver	
Diamesa tonsa T6			All	Ven	Ver	
Einfeldia sp.			All			
Eukiefferiella claripennis T99	Dri	Air	All	Ven		Sey
Eukiefferiella ilkleyensis/devonica T141					Ver	
Heterotrissocladius marcidus T156					Ver	
Limnophyes pentaplastus T91	Dri		All		Ver	
Macropelopia nebulosa T97	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Micropsectra atrofasciata T1			All		Ver	
Micropsectra atrofasciata T2	Dri	Air	All	Ven		
Micropsectra contracta T81				Ven		
Micropsectra notescens T51	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Micropsectra pallidula T50		Air	All		Ver	
Microtendipes britteni T55					Ver	
Microtendipes pedellus T54	Dri	Air				Sey
Nilotanypus dubius GT2		Air	All		Ver	
Orthocladinae sp GT3			All		Ver	

Orthocladius rivulorum T13
 Orthocladius rubicundus T19
 Orthocladius schnelli T108
 Orthocladius sp. T72
 Orthocladius sp. T73
 Paracricotopus niger T21
 Parametrioctenemus stylatus T42
 Paratanytarsus dissimilis
 Paratanytarsus grimmii
 Paratendipes albimanus T121
 Paratrichocladius rufiventris T34
 Polypedilum albicorne T113
 Polypedilum convictum T53
 Polypedilum nubeculosum
 Polypedilum pullum
 Polypedium sp.
 Potthastia gaedii
 Potthastia sp.
 Prodiamesa olivacea T27
 Psectrocladius limbatellus GT4
 Rheocricotopus atripes
 Rheocricotopus chalybeatus T130
 Rheocricotopus fuscipes T40
 Rheotanytarsus sp. GT1
 Stempellinella flavidula T80
 Synorthocladius semivirens T24
 Tanytarsus brundini T84
 Tanytarsus ejuncidus GT5
 Tanytarsus eminulus T119
 Tanytarsus heusdensis
 Tanytarsus heusdensis GT6
 Tanytarsus mendax
 Tanytarsus pallidicornis T169
 Tanytarsus volgensis
 Thienemanniella caspersi T70
 Thienemanniella obscura T102
 Thienemannimyia lentiginosa GT7
 Thienemannimyia northumbrica GT8
 Tvetenia calvescens T31
 Tvetenia calvescens T61
 Tvetenia verralli T144
 Zavreliomyia divisa

				Ver	
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
	Air	All	Ven	Ver	
	Air	All	Ven	Ver	
		All			
		All			
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
	Air				
Dri				Ver	
Dri	Air		Ven		Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
			Ven		
				Ver	
	Air	All		Ver	
				Ver	
				Ver	
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Dri				Ver	
	Air		Ven		
	Air	All			
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
				Ver	
	Air	All		Ver	
		All		Ver	
		All			
Dri	Air	All		Ver	Sey
Dri	Air	All		Ver	Sey
		All			
Dri				Ver	Sey
Dri					
		All			
			Ven		
				Ver	
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
		All			
Dri	Air	All			
				Ver	
Dri	Air	All		Ver	Sey
Dri	Air	All		Ver	Sey
		All			

Culicidae

Culex hortensis
 Culex pipiens

			Ven		
Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Muscidae

Limnophora olympiae

Dri	Air	All		Ver	Sey
-----	-----	-----	--	-----	-----

Psychodidae						
Clogmia albipunctata	Dri			Ven		
Psychoda cinerea	Dri	Air		Ven		
Ptychopteridae						
Ptychoptera contaminata				Ven		
Culex sp.			All	Ven	Ver	
Simuliidae						
Simulium angustitarse			All			
Simulium bezzii	Dri		All			
Simulium jenningsi			All			
Simulium kiritshenkoi			All	Ven	Ver	
Simulium lineatum			All			
Simulium monticola			All			
Simulium noelleri					Ver	
Simulium petricolum			All	Ven		
Simulium reptans			All			Sey
Simulium reptantoides	Dri	Air	All		Ver	Sey
Simulium sp.			All	Ven	Ver	Sey
Simulium trifasciatum			All	Ven	Ver	
Simulium triglobus			All			
Simulium urbanum			All			
Simulium variegatum			All			
Simulium velutinum		Air	All		Ver	Sey
Ephemeroptera						
Arthropleidae						
Arthroplea bipunctata		Air	All		Ver	
Baetidae						
Alainites muticus			All			
Baetis alpinus			All		Ver	
Baetis atlanticus		Air	All			
Baetis lutheris/alpinus			All		Ver	
Baetis rhodani	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Baetis scambus		Air	All		Ver	
Baetis sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Baetis vernus	Dri		All		Ver	
Caenidae						
Caenis beskidensis			All			
Caenis macrura		Air			Ver	
Ephemerellidae						
Serratella ignita	Dri		All			
Serratella sp.	Dri	Air	All			
Ephemeridae						
Ephemera danica			All			
Ephemeroptera						
Caenis macrura		Air				
Epeorus assimilis			All			
Ephemera danica			All			
Habrophlebia lauta			All			

Heptageniidae						
Atopopus sp.			All			
Cinygmia sp.			All			
Ecdyonurus dispar			All			
Ecdyonurus venosus		Air	All		Ver	
Electrogena lateralis			All			
Rhithrogena puytoraci		Air			Ver	
Rhithrogena semicolorata					Ver	
Rhithrogena sp.			All		Ver	
Leptohyphidae						
Tricorythodes sp.	Dri		All	Ven	Ver	
Leptophlebiidae						
Habrophlebia lauta		Air	All		Ver	
Paraleptophlebia submarginata			All		Ver	
Odonata						
Cordulegaster boltonii		Air				
Platycnemis pennipes						Sey
Plecoptera						
Leuctridae						
Leuctra digitata			All			
Leuctra fusca			All			
Leuctra fusca/albida			All			
Leuctra hexacantha			All			
Leuctra hippopus			All		Ver	
Leuctra major		Air	All		Ver	
Leuctra nigra			All			
Leuctra sp.		Air	All		Ver	
Nemouridae						
Protonemura intricata			All			
Trichoptera						
Glossosomatidae						
Glossosoma boltoni			All		Ver	
Goeridae						
Silo nigricornis					Ver	
Silo pallipes	Dri				Ver	
Hydropsychidae						
Hydropsyche angustipennis		Air		Ven		
Hydropsyche dinarica					Ver	
Hydropsyche instabilis			All	Ven	Ver	
Hydropsyche siltalai	Dri	Air	All	Ven		Sey
Hydropsyche sp.		Air	All	Ven	Ver	
Hydroptilidae						
Agraylea multipunctata			All			
Hydroptila forcipata					Ver	
Hydroptila vectis		Air		Ven		Sey
Leptoceridae						
Mystacides azureus		Air				

Limnephilidae						
Chaetopteryx villosa/fusca			All			
Halesus radiatus		Air	All	Ven	Ver	Sey
Halesus sp.		Air	All		Ver	Sey
Melampophylax mucoreus					Ver	
Potamophylax cingulatus		Air	All	Ven	Ver	
Potamophylax latipennis					Ver	
Pycnopsyche lepida					Ver	
Odontoceridae						
Odontocerum albicorne	Dri		All		Ver	
Philopotamidae						
Philopotamus variegatus			All			
Psychomyiidae						
Lype reducta			All		Ver	
Tinodes waeneri		Air				
Rhyacophilidae						
Rhyacophila dorsalis			All			
Sericostomatidae						
Sericostoma galeatum			All			
Malacostraca						
Amphipoda						
Gammaridae						
Gammarus fossarum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Gammarus sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Decapoda						
Astacidae						
Pacifastacus leniusculus	Dri	Air	All		Ver	Sey
Isopoda						
Asellidae						
Asellus aquaticus		Air	All	Ven	Ver	Sey
Proasellus coxalis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Proasellus meridianus					Ver	
Proasellus sp.						Sey
Proasellus valdensis			All			
Phreatoicidae						
Crenoicus sp.				Ven		
Trichoniscidae						
Hyloniscus riparius		Air		Ven		Sey
Trichoniscus pusillus	Dri					
Ostracoda						
Podocopida						
Candonidae						
Candona candida			All		Ver	
Pseudocandona albicans			All			
Pseudocandona sp.			All		Ver	
Cyprididae						
Eucypris virens				Ven		

Bryozoa						
Phylactolaemata						
Plumatellida						
Fredericellidae						
Fredericella sultana	Dri	Air			Ver	Sey
Plumatellidae						
Plumatella emarginata		Air			Ver	
Plumatella fungosa	Dri	Air				Sey
Plumatella repens		Air				
Plumatella reticulata		Air				Sey
Plumatella rugosa		Air				Sey
Plumatella sp.		Air				Sey
Lophopodidae						
Lophopus crystallinus	Dri					
Chordata						
Actinopterygii						
Centrarchiformes						
Centrarchidae						
Lepomis gibbosus	Dri				Ver	Sey
Cypriniformes						
Cyprinidae						
Barbus barbus			All		Ver	Sey
Gobionidae						
Gobio gobio		Air	All		Ver	Sey
Leuciscidae						
Alburnoides bipunctatus	Dri					Sey
Phoxinus phoxinus	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Rutilus rutilus	Dri	Air	All		Ver	Sey
Squalius cephalus	Dri	Air	All		Ver	Sey
Telestes souffia						Sey
Nemacheilidae						
Barbatula barbatula		Air	All		Ver	Sey
Tincidae						
Tinca tinca						Sey
Esociformes						
Esocidae						
Esox lucius					Ver	
Perciformes						
Cottidae						
Cottus gobio			All		Ver	
Gasterosteidae						
Gasterosteus aculeatus					Ver	
Percidae						
Perca fluviatilis	Dri				Ver	Sey

Salmoniformes						
Salmonidae						
Oncorhynchus mykiss	Dri	Air			Ver	
Salmo labrax	Dri		All		Ver	Sey
Salmo trutta/Salmo trutta fario	Dri	Air	All		Ver	Sey
Thymallus thymallus			All		Ver	
Siluriformes						
Ictaluridae						
Ameiurus nebulosus/melas	Dri				Ver	Sey
Amphibia						
Anura						
Bufo bufo	Dri			Ven		Sey
Ranidae						
Rana sp.	Dri	Air			Ver	Sey
Caudata						
Salamandridae						
Ichthyosaura alpestris	Dri	Air				
Salamandra salamandra			All			
Aves						
Anseriformes						
Anatidae						
Anas sp.	Dri		All	Ven	Ver	
Anser anser				Ven		
Passeriformes						
Cinclidae						
Cinclus cinclus			All			
Pelecaniformes						
Ardeidae						
Ardea cinerea					Ver	
Mammalia						
Rodentia						
Castoridae						
Castor fiber	Dri				Ver	Sey
Cricetidae						
Arvicola amphibius	Dri			Ven		
Cnidaria						
Hydrozoa						
Anthoathecata						
Hydridae						
Hydra circumcincta	Dri		All		Ver	Sey
Hydra oligactis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Hydra sp.	Dri	Air	All		Ver	
Hydra viridissima			All		Ver	
Hydra vulgaris	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Limnomedusae						
Olindiidae						
Craspedacusta sowerbyi	Dri	Air	All		Ver	Sey

Myxozoa						
Bivalvulida						
Myxobolidae						
Myxobolus muelleri		Air				Sey
Myxobolus sp.		Air				Sey
Malacovalvulida						
Saccosporidae						
Buddenbrockia plumatellae	Dri	Air				
Buddenbrockia sp.		Air				
Malacovalvulida						
Saccosporidae						
Tetracapsuloides bryosalmonae	Dri	Air				Sey
Gastrotricha						
Chaetonotida						
Chaetonotidae						
Chaetonotus aff. borealis/persimilis	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Chaetonotus aff. maximus	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Chaetonotus aff. bombardus/euhystrix		Air				
Chaetonotus gelidus				Ven		
Chaetonotus jaceki		Air				
Chaetonotus persimilis						Sey
Chaetonotus sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Heterolepidoderma macrops		Air				Sey
Heterolepidoderma sp.		Air		Ven		Sey
Lepidodermella squamata			All	Ven	Ver	
Mollusca						
Bivalvia						
Myida						
Dreissenidae						
Dreissena rostriformis bugensis					Ver	
Venerida						
Sphaeriidae						
Euglesa casertana	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Euglesa globularis				Ven		
Euglesa personata	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Musculium lacustre				Ven		
Pisidium amnicum			All		Ver	
Pisidium nitidum		Air				
Pisidium obtusale	Dri	Air		Ven	Ver	
Pisidium sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Sphaerium corneum		Air				

Gastropoda						
Basommatophora						
Physidae						
Physella acuta	Dri	Air		Ven		Sey
Hygrophila						
Planorbidae						
Ancylus fluviatilis	Dri	Air			Ver	
Littorinimorpha						
Amnicolidae						
Bythinella sp.				Ven		
Tateidae						
Potamopyrgus antipodarum	Dri	Air	All		Ver	Sey
Potamopyrgus sp.		Air				
Pulmonata						
Lymnaeidae						
Ampullaceana balthica	Dri	Air	All		Ver	
Nematoda						
Chromadorea						
Chromadorida						
Chromadoridae						
Punctodora ratzeburgensis		Air			Ver	
Plectida						
Plectidae						
Plectus aff. Parvus	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Plectus aquatilis	Dri			Ven		
Plectus sp.	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Rhabditida						
Diplogasteridae						
Diplogaster sp.	Dri					
Enoplea						
Dorylaimida						
Longidoridae						
Xiphinema brevicollum				Ven		
Mermithida						
Mermithidae						
Isomermis lairdi					Ver	
Triplonchida						
Prismatolaimidae						
Prismatolaimus sp.			All			
Nemertea						
Hoplonemertea						
Monostilifera						
Prostomatidae						
Prostoma eilhardi	Dri					
Prostoma graecense	Dri	Air	All	Ven		Sey

Platyhelminthes						
Cestoda						
Spathebothriidea						
Acrobothriidae						
Cyathocephalus truncatus				Ver		
Rhabditophora						
Bothrioplanida						
Bothrioplanidae						
Bothrioplana semperi	Dri	Air	All	Ver		
Lecithoepitheliata						
Prorhynchidae						
Prorhynchus stagnalis				Ver		
Macrostomida						
Macrostomidae						
Macrostomum balticum			All			
Macrostomum sinensis				Ver		
Macrostomum sp.				Ven	Ver	
Microstomidae						
Microstomum bispiralis	Dri					
Microstomum lineare	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Prolecithophora						
Plagiostomidae						
Plagiostomum lemani			All	Ver		
Rhabdocoela						
Dalyelliidae						
Microdalyellia sp.	Dri					
Typhloplanidae						
Krumbachia sp.		Air				
Tricladida						
Dendrocoelidae						
Dendrocoelum lacteum			All	Ver		
Dugesiidae						
Dugesia sp.			All	Ver		
Girardia tigrina	Dri	Air				Sey
Schmidtea polychroa/mediterranea	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Planariidae						
Polycelis felina		Air	All	Ven	Ver	
Polycelis sp.			All	Ven		
Polycelis tenuis/nigra	Dri			Ven		Sey
Turbellaria						
Catenulida						
Stenostomidae						
Stenostomum aff. Leucops	Dri		All	Ven		Sey
Stenostomum simplex	Dri		All	Ven		
Stenostomum sp.		Air			Ver	Sey
Stenostomum sthenum	Dri					Sey

Porifera						
Demospongiae						
Spongillida						
Spongillidae						
Ephydatia muelleri						Sey
Ephydatia sp.		Air			Ver	
Rotifera						
Eurotatoria						
Adinetida						
Adinetidae						
Adineta barbata						Sey
Adineta sp.	Dri					
Adineta vaga			All			Sey
Bdelloidea						
Rotaria rotatoria				Ven		Sey
Flosculariaceae						
Filinidae						
Filinia longiseta					Ver	
Flosculariidae						
Limnias ceratophylli		Air				
Philodinida						
Philodinidae						
Philodina megalotrocha		Air				Sey
Ploima						
Asplanchnidae						
Asplanchna sieboldi						Sey
Brachionidae						
Brachionus calyciflorus	Dri					
Euchlanis alata	Dri				Ver	Sey
Platylabus quadricornis						Sey
Gastropodidae						
Ascomorpha ovalis		Air				
Lecanidae						
Lecane closterocerca	Dri	Air				Sey
Notommatidae						
Cephalodella forficula			All			
Synchaetidae						
Synchaeta oblonga					Ver	
Trichocercidae						
Trichocerca elongata	Dri					Sey
Tardigrada						
Eutardigrada						
Parachela						
Hypsibiidae						
Hypsibius sp.	Dri					
Isohypsibius sp.						Sey
Murrayidae						
Dactylobiotus sp.	Dri					Sey

Alveolata						
Apicomplexa						
Conoidasida						
Eugregarinorida						
Lecudinidae						
Ascogregarina sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Uradiophoridae						
Heliospora cf. longissima	Dri	Air			Ver	Sey
Ciliophora						
Armophorea						
Metopida						
Metopidae						
Heterometopus sp.						Sey
Colpodea						
Colpodida						
Colpodidae						
Colpoda henneguyi				Ven		
Colpoda steinii	Dri					Sey
Cyrtolophosidida						
Platyophryidae						
Platyophrya sp.			All	Ven	Ver	Sey
Pseudoplatyophrya nana	Dri	Air		Ven		Sey
Heterotrichea						
Heterotrichida						
Spirostomidae						
Spirostomum sp.						Sey
Stentoridae						
Stentor elegans						Sey
Stentor muelleri	Dri	Air		Ven	Ver	
Stentor roeselii						Sey
Stentor sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Karyorelictea						
Loxodida						
Loxodidae						
Loxodes vorax			All			
Litostomatea						
Haptorida						
Dileptidae						
Dileptus costaricanus			All		Ver	
Pseudomonilicaryon fraterculum			All			
Enchelyidae						
Enchelys gasterosteus		Air				
Enchelys polynucleata				Ven		
Lacrymariidae						
Lacrymaria sp.	Dri					
Spathidiidae						
Spathidium claviforme	Dri					
Spathidium simplinucleatum						Sey

Tracheliidae						
Trachelius ovum		Air				Sey
Trachelius sp.	Dri	Air				Sey
Trachelophyllidae						
Trachelophyllum brachypharynx		Air				Sey
Pleurostomatida						
Amphileptidae						
Hemiophrys procera		Air		Ven		Sey
Hemiophrys sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Litonotidae						
Litonotus paracygnus			All			Sey
Litonotus pictus					Ver	
Litonotus sp.	Dri	Air			Ver	Sey
Loxophyllum						
Loxophyllum jini			All			
Vestibuliferida						
Trimyemidae						
Trimyema compressum		Air				
Nassophorea						
Nassulida						
Furgasoniidae						
Furgasonia blochmanni						Sey
Synhymeniida						
Orthodonellidae						
Zosterodasys sp.						Sey
Oligohymenophorea						
Hymenostomatida						
Deltopylidae						
Agolohymena aspidocauda	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Glaucoidae						
Glaucoma scintillans	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Ichthyophthiriidae						
Ichthyophthirius multifiliis	Dri	Air				Sey
Tetrahymenidae						
Tetrahymena bergeri		Air		Ven		Sey
Tetrahymena elliotti				Ven		
Tetrahymena sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Mobilida						
Trichodinidae						
Trichodina heterodentata		Air			Ver	
Peniculida						
Frontoniidae						
Frontonia sp.						Sey
Lembadionidae						
Lembadion sp.		Air	All			Sey
Parameciidae						
Paramecium sp.	Dri	Air		Ven		Sey

Urocentridae						
Urocentrum sp.	Dri	Air				Sey
Philasterida						
Loxocephalidae						
Dexiotricha cf.granulosa		Air		Ven	Ver	Sey
Orchitophryidae						
Mesanophrys sp.			All		Ver	
Pleuronematida						
Cyclidiidae						
Cyclidium glaucoma	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Cyclidium plouneouri	Dri					
Cyclidium sp.	Dri	Air		Ven	Ver	
Protocyclidium citrullus	Dri	Air		Ven		Sey
Histiobalantiidae						
Histiobalantium natans	Dri		All		Ver	
Sessilida						
Epistylidae						
Campanella sp.		Air				Sey
Ophrydiidae						
Ophrydium versatile	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Opisthonectidae						
Telotrochidium sp.				Ven		
Vaginicolidae						
Vaginicola crystallina						Sey
Vorticellidae						
Carchesium polypinum	Dri			Ven		Sey
Vorticella aequilata	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Vorticella campanula	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Vorticella convallaria	Dri					
Vorticella fusca					Ver	Sey
Vorticella gracilis				Ven	Ver	
Vorticella sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Vorticellides sp.				Ven		
Zoothamniidae						
Zoothamnium duplicatum	Dri	Air			Ver	Sey
Phyllopharyngea						
Chlamydodontida						
Chilodonellidae						
Chilodonella piscicola	Dri	Air				
Chilodonella sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Chilodonella uncinata	Dri		All	Ven		Sey
Phascolodon sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pseudochilodonopsis sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Trithigmostoma sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Trithigmostoma steini		Air	All	Ven	Ver	Sey
Endogenida						
Tokophryidae						
Tokophrya infusionum	Dri			Ven		

Tokophrya sp.	Dri	Air				Sey
Prostomatea						
Prorodontida						
Colepidae						
Coleps hirtus	Dri	Air	All		Ver	Sey
Coleps nolandi	Dri	Air	All		Ver	Sey
Placidae						
Placus striatus			All	Ven		Sey
Urotrichidae						
Urotricha sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Spirotrichea						
Choreotrichida						
Strobilidiidae						
Strobilidium sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Euplotida						
Aspidiscidae						
Aspidisca sp.	Dri	Air		Ven	Ver	
Euplotidae						
Euplotes sp.	Dri					
Sporadotrichida						
Halteriidae						
Halteria grandinella	Dri	Air		Ven		Sey
Oxytrichidae						
Histriculus histrio	Dri					Sey
Oxytricha elegans	Dri					
Oxytricha ferruginea	Dri	Air			Ver	Sey
Oxytricha granulifera						Sey
Oxytricha longa	Dri			Ven		
Oxytricha sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Stylonychia notophora		Air				
Tachysoma pellionellum					Ver	
Tetmemena pustulata		Air				
Stichotrichida						
Kahliellidae						
Kahliella sp.		Air		Ven		Sey
Spirofilidae						
Pseudouroleptus sp.		Air		Ven		Sey
Strongylidium sp.		Air			Ver	Sey
Tintinnida						
Tintinnidae						
Tintinnidium sp.		Air				Sey
Urostylida						
Bakuellidae						
Neobakuella flava	Dri	Air				Sey
Holostichidae						
Anteolosticha monilata	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Holosticha diademata	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Holosticha polystylata	Dri					

Pseudourostylidae						
Pseudourostyla cristata	Dri	Air			Ver	
Pseudourostyla franzi	Dri				Ver	
Urostylidae						
Diaxonella trimarginata		Air				
Paruroleptus lepisma				Ven		
Uroleptus gallina				Ven	Ver	Sey
Uroleptus pisces	Dri					
Urostyla grandis	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Dinoflagellata						
Dinophyceae						
Gymnodiniales						
Gymnodiniaceae						
Gymnodinium sp.					Ver	
Gyrodinium sp.			All			
Nusuttodinium amphidinioides		Air				
Peridiniales						
Kryptoperidiniaceae						
Unruhdinium minima						Sey
Unruhdinium penardii					Ver	
Peridiniopsidaceae						
	Dri					
Parvodinium inconspicuum	Dri					
Prorocentrales						
Prorocentraceae						
Prorocentrum sp.					Ver	
Suessiales						
Suessiaceae						
Asulcocephalum miricentonis		Air				
Amoebozoa						
Discosea						
Centramoebida						
Acanthamoebidae						
Acanthamoeba sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Flabellinia						
Dactylopodida						
Paramoebidae						
Korotnevella sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Korotnevella stella	Dri					
Vexilliferidae						
Pseudoparamoeba sp.	Dri			Ven		Sey
Vexillifera bacillipedes				Ven		
Vexillifera multispinosa				Ven		
Vexillifera sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Vannellida						
Vannellidae						
Paravannella minima	Dri					
Ripella platypodia	Dri			Ven		
Vannella pentlandii	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Vannella simplex	Dri	Air		Ven	Ver	
Vannella sp.	Dri	Air			Ver	
Longamoebia						
Thecamoebida						
Thecamoebidae						
Stenamoeba limacina	Dri	Air		Ven	Ver	
Himatismenida						
Cochliopodiidae						
Cochliopodium actinophorum	Dri	Air	All	Ven		
Cochliopodium kieliense	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Cochliopodium minus	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Cochliopodium sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Evosea						
Variosea						
Cavosteliida						
Schizoplasmodiopsis sp.	Dri					
Protostellida						
Protosteliaceae						
Schoutedamoeba minuta		Air				
Flamellidae						
Flamella pleistocenica	Dri					
Flamella sp.		Air				
Darbyshirella sp.	Dri	Air		Ven	Ver	
Ischnamoeba sp.	Dri			Ven		
Tubulinea						
Echinamoebida						
Echinamoebidae						
Echinamoeba sp.	Dri		All	Ven		Sey
Vermamoeba vermiformis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Euamoebida						
Hartmannellidae						
Ptolemeba bulliensis				Ven		
Ptolemeba noxubium						Sey
Leptomyxida						
Leptomyxidae						
Leptomyxa reticulata	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Apusomonadida						
Apusomonadidae						
Amastigomonas sp.				Ven		
Archaeplastida						
Chlorophyta						
Chlorodendraceae						
Tetraselmis cordiformis		Air			Ver	
Chlorophyceae						
Chaetophorales						
Chaetophoraceae						
Stigeoclonium sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Aphanochaetaceae						
Aphanochaete elegans		Air				
Aphanochaete sp.			All		Ver	
Chlamydomonadales						
Chlamydomonadaceae						
Carteria lunzensis						Sey
Carteria sp.		Air				
Chlamydomonas asymmetrica		Air	All			
Chlamydomonas bacca				Ven		
Chlamydomonas bilatus						Sey
Chlamydomonas cribrum		Air	All	Ven		Sey
Chlamydomonas fasciata						Sey
Chlamydomonas globosa					Ver	
Chlamydomonas moewusii			All			Sey
Chlamydomonas noctigama	Dri					Sey
Chlamydomonas sordida			All		Ver	Sey
Chlamydomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Chloromonas oogama		Air	All			
Polytoma sp.		Air		Ven	Ver	
Chlorochytriaceae						
Chlorochytrium lemnae	Dri		All	Ven		
Chlorochytrium sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Chlorococcaceae						
Chlorococcum sp.		Air	All			
Radiosphaera negevensis						Sey
Dunaliellaceae						
Hafniomonas sp.			All			
Haematococcaceae						
Chlorogonium sp.				Ven		
Phacotaceae						
Pteromonas sp.		Air				Sey
Tetracystaceae						
Tetracystis sp.						Sey
Volvocaceae						
Gonium pectorale		Air				Sey
Ettlia carotinsa						Sey
Paulschulzia pseudovolvox	Dri					
Chlorosarcinales						
Chlorosarcinaceae						
Neochlorosarcina negevensis			All			
Oedogoniales						
Oedogoniaceae						
Oedocladium prescottii						Sey
Protosiphonales						
Protosiphonaceae						
Spongiochloris spongiosa						Sey

Sphaeropleales						
Bracteacoccaceae						
Bracteacoccus sp.	Dri					Sey
Hydrodictyaceae						
Lacunastrum gracillimum	Dri	Air		Ven		Sey
Mychonastaceae						
Mychonastes sp.	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Neochloridaceae						
Neochloris sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Scenedesmaceae						
Desmodesmus abundans	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Desmodesmus sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Scenedesmus sp.		Air	All			Sey
Trebouxiophyceae						
Chlorellales						
Chlorellaceae						
Muriella terrestris	Dri	Air			Ver	Sey
Leptosiraceae						
Pseudopleurococcus printzii	Dri	Air		Ven	Ver	
Trebouxiales						
Trebouxiaceae						
Trebouxia impressa	Dri	Air		Ven	Ver	
Watanabeales						
Chloroidium ellipsoideum		Air		Ven		
Parachloroidium lobatum	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Coccomyxa sp.						Sey
Leptosira obovata				Ven		
Ulvophyceae						
Cladophorales						
Cladophoraceae						
Cladophora sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pithophoraceae						
Arnoldiella sp.	Dri	Air		Ven		
Scotinosphaerales						
Scotinosphaeraceae						
Chlorochytrium willei					Ver	Sey
Scotinosphaera lemnae	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Scotinosphaera sp.	Dri					
Ulotrichales						
Hazenaceae						
Hazenia basiliensis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Planophilaceae						
Planophila laetevirens			All	Ven	Ver	
Tupiellaceae						
Pseudendoclonium akinetum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Ulotrichaceae						
Ulothrix zonata	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Ulvaes						
Kornmanniaceae						
Dilabifilum arthropyreniae				Ven		
Lithotrichon pulchrum	Dri	Air		Ven	Ver	
Rhodophyta						
Bangiophyceae						
Bangiales						
Bangiaceae						
Bangia sp.		Air		Ven	Ver	
Florideophyceae						
Acrochaetiales						
Acrochaetiaceae						
Audouinella hermannii	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Batrachospermales						
Batrachospermaceae						
Batrachospermum sp.						Sey
Batrachospermum helminthosum		Air				
Sheathia arcuata	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Sheathia boryana	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Virescentia helminthosa		Air		Ven		
Lemaneaceae						
Lemanea fucina					Ver	
Hildenbrandiales						
Hildenbrandiaceae						
Hildenbrandia rivularis					Ver	
Thoreaales						
Thoreaceae						
Thorea hispida		Air				
Thorea sp.		Air				
Charophyta						
Klebsormidiophyceae						
Klebsormidiales						
Klebsormidiaceae						
Klebsormidium sp.				Ven		
CRuMs						
Ancyromonadida						
Ancyromonadidae						
Ancyromonas howeae		Air			Ver	Sey
Rigifilida						
Micronuclearia podoventralis	Dri	Air		Ven		Sey
Collodictyonidae						
Diphyllia rotans	Dri	Air		Ven		Sey

Excavata						
Euglenozoa						
Euglenida						
Euglenales						
Phacaceae						
Colacium sp.						Sey
Heteronematales						
Peranemidae						
Peranema trichophorum	Dri	Air				
Kinetoplastea						
Eubodonida						
Bodonidae						
Bodo edax	Dri					
Neobodonida						
Neobodo designis	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Neobodo sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Parabodonida						
Parabodo caudatus				Ven		
Procryptobia sorokini			All			
Fornicata						
Diplomonadida						
Hexamitidae						
Trepomonas agilis		Air		Ven	Ver	
Trepomonas sp.		Air			Ver	Sey
Heterolobosea						
Vahlkampfiidae						
Naegleria sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Hacrobia						
Centroheliozoa						
Centroplasthelida						
Pterocystida						
Heterophryidae						
Heterophrys sp.				Ven		
Pterocystidae						
Pterocystis sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Raphidiophryidae						
Raphidiophrys ambigua				Ven		
Raphidiophrys sp.						Sey
Cryptophyta						
Cryptophyceae						
Cryptomonadales						
Cryptomonadaceae						
Cryptomonas marssonii			All		Ver	Sey
Cryptomonas obovoidea	Dri	Air	All		Ver	Sey
Cryptomonas ovata	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Cryptomonas paramecium	Dri		All			Sey
Cryptomonas platyuris		Air				
Cryptomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Cryptomonas tetrapyrenoidosa					Ver	
Hemiselmidaceae						
Hemielmis sp.					Ver	
Goniomonadales						
Goniomonadaceae						
Goniomonas sp.				Ven		
Goniomonas truncata	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pyrenomonadales						
Chroomonadaceae						
Chroomonas sp.	Dri	Air	All		Ver	Sey
Komma caudata						Sey
Pyrenomonadaceae						
Rhodomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Haptophyta						
Prymnesiales						
Chrysochromulina sp.					Ver	
Other opisthokonta						
Choanozoa						
Choanoflagellida						
Sphaeroeca leprechaunica	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Craspedida						
Salpingoecidae						
Salpingoeca fusiformis	Dri	Air		Ven		
Ichthyosporea						
Ichthyophonae						
Anurofeca sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Mesomycetozoa						
Corallochytrida						
Syssomonas multiformis		Air		Ven		
Ichthyosporea						
Amoebidium parasiticum		Air				
Dermocystidium sp.	Dri	Air				Sey
Cristidiscoidea						
Nucleariida						
Nucleariidae						
Nuclearia sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Rhizaria						
Cercozoa						
Imbricatea						
Euglyphida						
Cyphoderiidae						
Cyphoderia ampulla	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Cyphoderia cf. compressa	Dri	Air				
Cyphoderia compressa	Dri					
Euglyphidae						
Euglypha filifera	Dri					
Euglypha rotunda						Sey
Tracheleuglypha dentata	Dri				Ver	Sey

Paulinellidae						
Paulinella sp.	Dri	Air			Ver	Sey
Trinematidae						
Trinema lineare	Dri	Air	All	Ven		Sey
Trinema sp.	Dri	Air		Ven		
Thaumatomonadida						
Thaumatomastigidae						
Peregrinia sp.		Air			Ver	Sey
Thaumatomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Sarcomonadea						
Cercomonadida						
Cercomonadidae						
Cercomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Eocercomonas sp.						Sey
Metabolomonas insania	Dri	Air	All			
Paracercomonas astra	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Paracercomonas compacta			All		Ver	
Paracercomonas sp.						Sey
Paracercomonas virgaria	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Glissomonadida						
Allapsidae						
Allantion sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Allapsa sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Teretomonas rotunda	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Sandonidae						
Sandona sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Viridiraptoridae						
Bodomorpha minima	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Bodomorpha sp.	Dri					
Thecofilosea						
Cryomonadida						
Protaspidae						
Protaspa sp.			All		Ver	
Rhogostomidae						
Capsellina sp.	Dri					
Rhogostoma sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Tectofilosida						
Chlamydophryidae						
Lecythium jennyae	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Mataza sp.			All		Ver	
Cercomonadida						
Cercomonadidae						
Cercomonas directa						Sey
Cercomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Paracercomonas						
Paracercomonas kruegeri				Ven		
Paracercomonas paralaciniaegerens				Ven		

Paracercomonas saepenatans						Sey
Gymnophrys sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Kraken sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Endomyxa						
Phytomyxea						
Plasmodiophorida						
Plasmodiophoridae						
Spongospora sp.			All		Ver	Sey
Spongospora subterranea					Ver	
Gromiida						
Pseudodifflugiidae						
Pseudodifflugia cf. gracilis					Ver	
Vampyrellida						
Leptophryidae						
Leptophrys vorax		Air	All			
Vampyrellidae						
Vampyrella sp.		Air				
Vampyrellidae						
Vampyrella lateritia		Air				
Stramenopiles						
Bacillariophyta						
Bacillariophyceae						
Achnanthes						
Achnanthidiaceae						
Achnanthidium delmontii			All			
Achnanthidium eutrophilum		Air				
Achnanthidium minutissimum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Achnanthidium pyrenaicum	Dri		All		Ver	
Achnanthidium saprophilum	Dri	Air		Ven	Ver	
Achnanthidium sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Achnanthidium subatomus	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Karayevia ploenensis var. gessneri		Air	All			
Planothidium frequentissimum	Dri	Air		Ven		
Planothidium lanceolatum	Dri	Air	All	Ven		
Planothidium naradoense		Air				
Planothidium victori	Dri	Air	All	Ven		
Cocconeidaceae						
Cocconeis pediculus	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Cocconeis placentula	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Cocconeis sp.	Dri	Air	All		Ver	
Bacillariales						
Bacillariaceae						
Denticula tenuis	Dri		All			
Nitzschia acicularis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia acicularoides			All			
Nitzschia alicae			All			
Nitzschia amphibia	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Nitzschia bizertensis		Air		Ven	Ver	Sey

Nitzschia capitellata		Air		Ven	Ver	Sey
Nitzschia draveillensis		Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia fonticola		Air	All	Ven	Ver	
Nitzschia heufleriana	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia inconspicua	Dri	Air		Ven		
Nitzschia linearis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia palea	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia paleacea					Ver	
Nitzschia pusilla	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Nitzschia sigmoidea		Air				Sey
Nitzschia soratensis				Ven		
Nitzschia sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Nitzschia supralitorea		Air		Ven		
Tryblionella apiculata	Dri	Air		Ven		Sey
Tryblionella sp.						Sey

Cymbellales

Cymbellaceae

Cymbella cymbiformis			All		Ver	
Cymbella excisa		Air	All		Ver	
Cymbella sp.			All			
Encyonema minutum	Dri	Air	All		Ver	
Encyonema prostratum					Ver	
Encyonema silesiacum			All			
Encyonema sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Encyonema ventricosum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Gomphonemataceae

Gomphoneis minuta	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Gomphonella olivacea	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Gomphonema affine				Ven		
Gomphonema micropus	Dri					
Gomphonema minutum	Dri	Air	All		Ver	Sey
Gomphonema parvulum	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Gomphonema pumilum var. pumilum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Gomphonema pumilum var. rigidum	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Gomphonema saprophilum	Dri	Air		Ven		Sey
Gomphonema sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Reimeria sinuata	Dri	Air	All	Ven	Ver	

Rhoicospheniaceae

Rhoicosphenia abbreviata	Dri	Air		Ven	Ver	
Rhoicosphenia cf. abbreviata	Dri	Air		Ven	Ver	Sey

Fragilariales

Fragilariaceae

Diatoma ehrenbergii			All			
Diatoma vulgaris	Dri		All		Ver	Sey
Fragilaria agnesiae	Dri					
Fragilaria gracilis			All			
Fragilaria joachimii				Ven		
Fragilaria sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Staurosira cf. mutabilis				Ver	
Staurosira elliptica	Dri				
Staurosira sp.				Ver	
Ulnaria acus	Dri	Air	All		Sey
Ulnaria sp.	Dri	Air	All	Ver	Sey
Ulnaria ulna	Dri	Air	All		Sey
Mediophyceae					
Stephanodiscaceae					
Cyclostephanos sp.				Ver	Sey
Melosirales					
Melosiraceae					
Melosira ambigu	Dri				
Melosira varians	Dri	Air	All	Ven	Sey
Naviculales					
Diploneidaceae					
Diploneis sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Diploneis subovalis	Dri	Air			Sey
Naviculaceae					
Adlafia minuscula	Dri	Air	All	Ver	
Navicula antonii	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula cryptocephala	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula cryptotenella	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula gregaria	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula lanceolata	Dri	Air		Ven	
Navicula sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula symmetrica				Ven	
Navicula tripunctata	Dri	Air	All	Ven	Sey
Navicula trivialis				Ven	Sey
Navicula veneta	Dri	Air		Ven	Sey
Pinnulariaceae					
Caloneis amphisbaena		Air			
Caloneis budensis	Dri				
Caloneis sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Pleurosigmaaceae					
Gyrosigma acuminatum	Dri	Air		Ven	Sey
Gyrosigma sciotense	Dri	Air	All	Ver	Sey
Gyrosigma sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Sellaphoraceae					
Eolimna minima	Dri	Air	All	Ven	Sey
Eolimna subminuscula				Ven	
Fistulifera pelliculosa	Dri	Air	All	Ven	Sey
Fistulifera saprophila	Dri	Air	All	Ven	Sey
Mayamaea atomus var. alcimonica	Dri	Air		Ven	
Mayamaea atomus var. atomus	Dri	Air	All	Ven	
Mayamaea permitis	Dri	Air	All	Ven	Sey
Rossia sp.	Dri				Sey
Sellaphora minima	Dri			Ven	
Sellaphora nigri	Dri	Air		Ven	

Sellaphora pupula				Ver	
Sellaphora saugerresii	Dri	Air		Ven	
Sellaphora seminulum				Ven	
Sellaphora sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Stauroneidaceae					
Craticula cuspidata		Air		Ver	
Craticula subminuscula		Air		Ven	
Fistulifera sp.				Ven	
Surirellales					
Surirellaceae					
Cymatopleura elliptica	Dri	Air		Ven	Sey
Iconella hibernica			All		
Surirella elliptica	Dri	Air		Ver	
Surirella lacrimula	Dri	Air	All	Ven	Sey
Surirella sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Tabellariales					
Tabellariaceae					
Meridion circulare				Ver	
Thalassiophysales					
Catenulaceae					
Amphora cf. fagediana	Dri	Air		Ven	Sey
Amphora ovalis	Dri	Air		Ver	Sey
Amphora pediculus	Dri	Air	All	Ven	Sey
Amphora sp.	Dri	Air	All	Ven	Sey
Thalassiosirales					
Skeletonemataceae					
Discostella nipponica				Ver	
Discostella woltereckii	Dri		All	Ver	Sey
Stephanodiscaceae					
Cyclotella cryptica				Ven	
Cyclotella distinguenda			All		
Cyclotella meneghiniana		Air		Ver	Sey
Bigyra					
Bicoecea					
Bicoecida					
Bicosoecaceae					
Bicosoeca sp.	Dri	Air		Ven	Ver
Siluniidae					
Paramonas globosa	Dri	Air		Ven	Sey
Siluania monomastiga	Dri				
Blastocystea					
Blastocystida					
Blastocystidae					
Blastocystis hominis		Air			

Gyrista						
Hyphochytriomycetes						
Hyphochytriales						
Hyphochytriaceae						
Hyphochytrium catenoides		Air				
Pirsonia						
Pirsoniida						
Pirsoniaceae						
Pirsonia sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Oomycota						
Oomycetes						
Haptoglossales						
Haptoglossaceae						
Haptoglossa heterospora						Sey
Haptoglossa sp.			All			Sey
Lagenidiales						
Lagenidiaceae						
Lagenidium sp.	Dri	Air	All		Ver	Sey
Peronosporales						
Peronosporaceae						
Phytophthora						
Phytophthora inundata	Dri	Air		Ven		Sey
Pythiales						
Pythiaceae						
Ovatisporangium montanum	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pythium adhaerens	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pythium amasculinum	Dri	Air		Ven		Sey
Pythium chamaihyphon		Air				Sey
Pythium deliense	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Pythium heterothallicum				Ven		Sey
Pythium inflatum	Dri	Air	All		Ver	Sey
Pythium sp.	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Saprolegniales						
Saprolegniaceae						
Aphanomyces sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Saprolegnia ferax	Dri					
Saprolegnia parasitica		Air				
Saprolegnia sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Achlya bisexualis	Dri	Air			Ver	Sey
Apodachlya brachynema	Dri					
Sagenista						
Labyrinthulomycetes						
Amphifilida						
Amphifilidae						
Fibrophrys sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Amphitremida						
Amphitraemidae						
Archerella sp.						Sey

Labyrinthulida						
Labyrinthulidae						
Labyrinthula sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Ochrophyta						
Chrysophyceae						
Chromulinales						
Chrysocapsaceae						
Chrysocapsa sp.					Ver	
Chrysochaete britannica		Air	All		Ver	
Naegeliella flagellifera			All		Ver	
Chrysococcaceae						
Kephyrion sp.					Ver	
Dictyochophyceae						
Pedinellales						
Actinomonadaceae						
Pseudopedinella sp.					Ver	
Dinobryaceae						
Dinobryon divergens					Ver	
Poterioochromonas malhamensis				Ven		Sey
Poteriospumella lacustris	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Hydrurales						
Hydruraceae						
Hydrurus foetidus		Air	All		Ver	
Hydrurus sp.			All		Ver	
Ochromonadales						
Ochromonadaceae						
Chlorochromonas sp.		Air		Ven		
Ochromonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Spumella sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Spumella vulgaris			All			
Paraphysomonadales						
Lepidochromonadaceae						
Clathromonas butcheri	Dri	Air		Ven		Sey
Paraphysomonadaceae						
Paraphysomonas sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Eustigmatophyceae						
Eustigmatales						
Chlorobotryaceae						
Vischeria helvetica						Sey
Monodopsidaceae						
Nannochloropsis sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Goniochloridales						
Goniochloridaceae						
Goniochloris sp.				Ven		
Phaeophyceae						
Ectocarpales						
Ectocarpaceae						
Ectocarpus sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	

Pleurocladia lacustris	Dri	Air		Ven	Ver	
Synurophyceae						
Synurales						
Mallomonadaceae						
Mallomonas acaroides			All		Ver	
Mallomonas cratis		Air	All			Sey
Mallomonas elongata			All		Ver	
Mallomonas mangofera						Sey
Mallomonas peroneides						Sey
Mallomonas sp.			All		Ver	Sey
Synura petersenii			All			Sey
Xanthophyceae						
Vaucheriales						
Vaucheriaceae						
Vaucheria bursata		Air	All		Ver	
Vaucheria terrestris		Air	All			

Tab.supp.5B. Liste de toutes les espèces non-aquatiques identifiées, avec leur présence sur différents sites

Eukaryota non-aquatiques						
Metazoa						
Annelida						
Oligochaeta						
Crassiclitellata						
Lumbricidae						
Lumbricus terrestris	Dri			Ven		
Arthropoda						
Arachnida						
Araneae						
Philodromidae						
Philodromus praedatus				Ven	Ver	
Tetragnathidae						
Tetragnatha montana	Dri		All			
Opiliones						
Phalangiidae						
Opilio parietinus			All			
Sarcoptiformes						
Micreremidae						
Micreremus brevipes	Dri					
Oribatulidae						
Phauloppia lucorum			All			
Trombidiformes						
Eriophyidae						
Aculops sp.		Air			Ver	Sey
Aculus sp.						Sey
Hygrobatidae						
Atractides sp.		Air			Ver	
Trombidiidae						
Allothrombium fuliginosum			All	Ven		
Collembola						
Entomobryomorpha						
Entomobryidae						
Entomobrya multifasciata				Ven		
Entomobrya nivalis			All			
Orchesella villosa				Ven		
Willowsia nigromaculata	Dri					
Isotomidae						
Folsomia candida				Ven		
Isotoma viridis	Dri					
Isotomurus unifasciatus	Dri					
Tomoceridae						
Tomocerus vulgaris					Ver	
Poduromorpha						
Hypogastruridae						
Ceratophysella communis	Dri					

Insecta						
Archaeognatha						
Machilidae						
Trigoniophthalmus alternatus		Air			Ver	
Blattodea						
Ectobiidae						
Ectobius lapponicus			All			
Coleoptera						
Anobiidae						
Oligomerus brunneus	Dri					
Attelabidae						
Schoenitemnus minutus				Ven		
Cantharidae						
Cantharis sp.			All			
Malthinus balteatus	Dri		All			
Malthinus facialis	Dri				Ver	
Malthinus glabellus	Dri					
Malthinus sp.			All			
Rhagonycha fulva		Air				
Carabidae						
Abax parallelepipedus				Ven		
Bembidion deletum				Ven		
Dromius quadrimaculatus	Dri		All			
Perigona nigriceps	Dri					
Cerambycidae						
Arhopalus rusticus	Dri					
Leiopus nebulosus				Ven		
Paraglenea sp.			All			
Chrysomelidae						
Altica ericeti			All			
Aphthona venustula			All			
Chrysolina coerulans			All			
Longitarsus succineus	Dri					
Psylliodes laticollis			All			
Pyrrhalta viburni						Sey
Smaragdina salicina			All			
Smaragdina sp.			All		Ver	
Coccinellidae						
Harmonia sp.			All			
Curculionidae						
Acalles micros		Air		Ven		Sey
Anthonomus rubi			All			
Barypeithes pellucidus				Ven		
Liophloeus tessulatus				Ven		
Otiorhynchus sp.		Air				
Scolytus multistriatus	Dri					
Elateridae						
Adrastus pallens			All		Ver	

Athous bicolor	Dri				Ver	
Athous haemorrhoidalis			All			
Drilus flavescens		Air	All	Ven		
Hemicrepidius hirtus		Air				
Hydraenidae						
Ochthebius exsculptus			All			
Lampyridae						
Lampyris noctiluca					Ver	
Lucanidae						
Dorcus parallelipipedus	Dri					
Lucanus cervus	Dri	Air				
Melyridae						
Dasytes plumbeus	Dri		All		Ver	
Mordellidae						
Mordella brachyura			All			
Nitidulidae						
Epuraea melanocephala			All			
Oedemeridae						
Nacerdes carniolica						Sey
Oedemera nobilis			All			
Oedemera podagrariae			All			
Scarabaeidae						
Amphimallon sp.	Dri	Air	All	Ven		
Serica brunnea		Air	All	Ven	Ver	
Scraptiidae						
Anaspis frontalis			All			
Anaspis lurida					Ver	
Anaspis pulicaria	Dri		All	Ven		
Cyrtanaspis phalerata	Dri					
Silphidae						
Phosphuga atrata			All		Ver	
Staphylinidae						
Amischa sp.			All			
Anotylus rugosus				Ven		
Atheta palustris	Dri					Sey
Gabrius breviventer			All			
Gnypeta sp.	Dri					
Ochtheophilus angustior	Dri					
Ocypus olens		Air				
Oxytelus fulvipes	Dri					
Philonthus addendus			All			
Philonthus cognatus	Dri					
Philonthus concinnus			All			
Tenebrionidae						
Lagria hirta				Ven		
Dermaptera						
Forficulidae						
Forficula auricularia	Dri					

Forficula sp.	Dri		All		Ver	
Diptera						
Anisopodidae						
Sylvicola stackelbergi	Dri					
Asilidae						
Neoitamus cyanurus			All			
Blephariceridae						
Liponeura decipiens			All		Ver	
Calliphoridae						
Lucilia caesar		Air				
Lucilia sericata	Dri					
Pollenia griseotomentosa		Air				
Pollenia hungarica	Dri				Ver	
Pollenia labialis	Dri	Air			Ver	
Pollenia pediculata	Dri			Ven		
Pollenia rudis	Dri					
Protocalliphora azurea			All			
Ceratopogonidae						
Atrichopogon hirtidorsum		Air				
Culicoides sp.					Ver	
Dasyhelea ludingensis				Ven		
Cylindrotomidae						
Cylindrotoma sp.	Dri			Ven	Ver	Sey
Dixidae						
Dixa submaculata			All			
Dolichopodidae						
Sciapus sp.				Ven		
Drosophilidae						
Chymomyza amoena	Dri					
Drosophila albomicans		Air	All		Ver	
Drosophila helvetica				Ven		
Drosophila immigrans	Dri					
Drosophila suzukii				Ven	Ver	
Lordiphosa fenestrarum				Ven		
Scaptomyza pallida	Dri					
Empididae						
Wiedemannia bistigma			All		Ver	
Fanniidae						
Fannia coracina					Ver	
Fannia monilis					Ver	
Fannia serena	Dri				Ver	
Fannia sp.	Dri					
Fannia umbrosa	Dri					
Hybotidae						
Platypalpus luteolus			All			
Platypalpus optivus	Dri					
Tachydromia annulimana	Dri					
Tachydromia sp.			All			

Lauxaniidae						
Calliopum aeneum			All			
Limoniidae						
Antocha vitripennis		Air	All		Ver	Sey
Cheilotrichia cinerascens	Dri					
Dicranomyia sp.				Ven	Ver	
Metalimnobia quadrimaculata				Ven		
Symplecta hybrida				Ven		
Lonchaeidae						
Lonchaea chorea		Air				
Muscidae						
Muscina prolapsa	Dri			Ven	Ver	Sey
Phoridae						
Megaselia sp.		Air				
Pipunculidae						
Chalarus griseus				Ven		
Jassidophaga fasciata			All			
Platypezidae						
Callomyia sp.	Dri					
Platystomatidae						
Platystoma seminationis	Dri					
Psychodidae						
Pericoma blandula	Dri	Air				Sey
Psychoda phalaenoides	Dri					
Satchelliella trivialis	Dri					
Sarcophagidae						
Sarcophaga carnaria			All			
Sarcophaga depressifrons					Ver	
Sarcophaga sp.				Ven		Sey
Sarcophaga variegata	Dri					
Sciaridae						
Bradysia placida	Dri					
Corynoptera subtilis		Air				
Sphaeroceridae						
Rachispoda sp.				Ven		
Stratiomyidae						
Chloromyia formosa	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Microchrysa polita	Dri					
Tabanidae						
Chrysops caecutiens					Ver	
Tachinidae						
Gymnosoma sp.			All			
Tephritidae						
Ceratitis capitata	Dri					
Rhagoletis cerasi			All			
Tipulidae						
Tanyptera dorsalis		Air				
Tipula lateralis	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Tipula maxima	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Tipula oleracea	Dri	Air				Sey
Tipulidae sp.	Dri					
Hemiptera						
Acanthosomatidae						
Elasmostethus sp.			All			
Anthocoridae						
Orius minutus			All			
Orius sp.			All			
Aphididae						
Anuraphis subterranea			All			
Rhopalomyzus lonicerae			All			
Cicadellidae						
Empoasca decipiens	Dri		All	Ven	Ver	Sey
Empoasca luda	Dri					
Macropsis fuscula			All			
Typhlocyba ulmiphagus		Air				
Alebra wahlbergi	Dri					
Alnetoidia alneti	Dri			Ven	Ver	
Aphrodes bicincta			All			
Issidae						
Issus coleoptratus	Dri	Air	All	Ven		Sey
Liviidae						
Psyllopsis fraxinicola	Dri				Ver	
Miridae						
Campyloneura virgula	Dri		All			
Pseudoloxops coccineus				Ven		
Nabidae						
Himacerus apterus	Dri					
Nepidae						
Nepa cinerea		Air				
Pentatomidae						
Pentatoma rufipes	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Psyllidae						
Cacopsylla ambigua			All			
Psylla alni					Ver	
Pyrrhocoridae						
Pyrrhocoris apterus						Sey
Triozidae						
Trioza urticae	Dri					
Hymenoptera						
Formicidae						
Formica exsecta				Ven	Ver	
Lasius emarginatus	Dri			Ven	Ver	Sey
Lasius niger		Air	All	Ven		Sey
Lasius platythorax			All			
Tenthredinidae						
Cladius ordubadensis			All			

Cladius rufipes			All			
Heterarthrus vagans				Ven		
Tenthredo temula			All			
Vespidae						
Vespula vulgaris					Ver	
Lepidoptera						
Bucculatricidae						
Bucculatrix sp.		Air				
Erebidae						
Eilema sororcula				Ven		
Lepidoptera						
Archips xylosteana			All			
Craniophora ligustri				Ven		
Nepticulidae						
Stigmella atricapitella			All			
Stigmella microtheriella		Air		Ven		
Noctuidae						
Axylia putris			All			
Lacanobia oleracea			All			
Notodontidae						
Drymonia dodonaea		Air				
Gluphisia crenata			All			
Thaumetopoea pityocampa						Sey
Roeslerstammiidae						
Roeslerstammia pronubella					Ver	
Saturniidae						
Hemileuca sp.			All			
Tortricidae						
Celypha aurofasciana			All			
Ditula angustiorana	Dri		All			
Eudemis porphyra				Ven		
Eudonia mercurella				Ven		
Zeiraphera isertana					Ver	
Mecoptera						
Panorpidae						
Panorpa communis			All	Ven		
Panorpa germanica	Dri		All	Ven	Ver	
Panorpa sp.	Dri		All			
Neuroptera						
Coniopterygidae						
Coniopteryx borealis	Dri					
Coniopteryx lentiae	Dri					
Hemerobiidae						
Hemerobius micans	Dri					
Orthoptera						
Tettigoniidae						
Meconema meridionale	Dri					

Psocoptera						
Caeciliusidae						
Valenzuela burmeisteri	Dri			Ven	Ver	
Valenzuela flavidus	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Valenzuela piceus	Dri					Sey
Ectopsocidae						
Ectopsocus briggsi	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Ectopsocus californicus	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Ectopsocus meridionalis	Dri					
Ectopsocus sp.	Dri	Air	All	Ven		Sey
Elipsocidae						
Elipsocus moebiusi	Dri					
Liposcelididae						
Liposcelis sp.	Dri					
Peripsocidae						
Peripsocus subfasciatus	Dri	Air		Ven		Sey
Peripsocoidea						
Peripsocus madidus		Air				
Philotarsidae						
Philotarsus picicornis	Dri	Air				
Psocidae						
Metylophorus wuyinicus	Dri	Air	All	Ven	Ver	
Stenopsocidae						
Graphopsocus cruciatus	Dri	Air	All	Ven		Sey
Stenopsocus sp.	Dri		All		Ver	
Trichopsocidae						
Trichopsocus dali	Dri					
Myriapoda						
Diplopoda						
Julidae						
Brachyiulus pusillus			All			
Polydesmidae						
Polydesmus angustus	Dri					
Chordata						
Aves						
Accipitriformes						
Accipitridae						
Milvus sp.						Sey
Columbiformes						
Columbidae						
Columba livia						Sey
Columba palumbus	Dri	Air		Ven	Ver	
Galliformes						
Phasianidae						
Meleagris sp.				Ven		
Passeriformes						
Corvidae						
Corvus cornix		Air				

Corvus corone	Dri	Air		Ven	Ver	
Garrulus glandarius						Sey
Motacillidae						
Motacilla sp.				Ven		
Sylviidae						
Sylvia atricapilla	Dri		All	Ven	Ver	
Turdidae						
Erithacus rubecula			All	Ven		
Turdus merula	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Turdus sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Strigiformes						
Strigidae						
Strix sp.						Sey
Mammalia						
Artiodactyla						
Bovidae						
Bos taurus		Air	All	Ven	Ver	Sey
Ovis aries				Ven		
Cervidae						
Capreolus capreolus	Dri			Ven	Ver	
Suidae						
Sus scrofa		Air		Ven	Ver	Sey
Carnivora						
Canidae						
Canis lupus/chien	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Vulpes vulpes	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Felidae						
Felis sp.				Ven		
Mustelidae						
Meles meles		Air	All	Ven		Sey
Chiroptera						
Vespertilionidae						
Myotis bechsteinii	Dri					
Myotis daubentonii				Ven	Ver	Sey
Pipistrellus pipistrellus	Dri				Ver	
Pipistrellus pygmaeus	Dri			Ven		
Pipistrellus sp.	Dri	Air		Ven		Sey
Eulipotyphla						
Erinaceidae						
Erinaceus europaeus				Ven		Sey
Soricidae						
Crocidura russula				Ven		
Crocidura sp.				Ven		
Primates						
Hominidae						
Homo sapiens	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey

Rodentia						
Cricetidae						
Microtus arvalis		Air				
Muridae						
Apodemus flavicollis	Dri			Ven	Ver	
Rattus norvegicus	Dri	Air		Ven	Ver	Sey
Sciuridae						
Sciurus vulgaris	Dri	Air				Sey
Mollusca						
Gastropoda						
Ellobiida						
Ellobiidae						
Carychium minimum			All			
Stylommatophora						
Agriolimacidae						
Deroceras reticulatum	Dri	Air	All		Ver	
Arionidae						
Arion sp.	Dri	Air	All	Ven	Ver	Sey
Hygromiidae						
Hygromia cinctella		Air		Ven		
Monacha cartusiana				Ven		
Monachoides incarnatus				Ven		
Trochulus sp.				Ven	Ver	Sey
Limacidae						
Lehmannia marginata			All			
Limax maximus		Air				Sey
Succineidae						
Oxyloma wujiaquensis					Ver	
Succinea putris	Dri		All			
Excavata						
Euglenozoa						
Euglenida						
Trypanosomatida						
Trypanosomatidae						
Zelonia sp.	Dri	Air	All	Ven		Sey