



UMR-CNRS 5600 EVS UJM

I.U.T. de SAINT-ETIENNE - UNIVERSITE JEAN MONNET

Département Génie Biologique

28, avenue Léon Jouhaux - 42023 Saint-Etienne Cedex 2

FICHE BILAN AMI ARS LAC DE DEVESSET

Travail réalisé avec

Sébastien Autret, doctorant

Séverine Allégra, Audrey Vanhove, Inès Gouveia, enseignantes chercheuses

UMR 5600 EVS UJM/ IUT SE

En collaboration avec le SIGLD et la base de voile sport nature Devesset

Référente : Françoise Girardot, microbiologiste

Mél : francoise.girardot@univ-st-etienne.fr

Tel : 04 77 46 33 49

10/04/2024



Contexte

Le lac de Devesset en Ardèche est situé à 1074 m d'altitude. C'est une retenue artificielle de 50 ha créée en 1974 sur la rivière Eyrieux, à moins de 2km de sa source. Le syndicat intercommunal de gestion du lac de Devesset (SIGLD) composé des communes du Chambon sur Lignon (43), de Devesset (07) et de Saint Agrève (07) assure la gestion du lac dont le propriétaire foncier est le syndicat départemental d'équipement et d'aménagement (SDEA, 07). Le lac est au cœur d'un site touristique proposant une zone de baignade, de pêche, une base nautique et divers aménagements (sentiers pédestres, camping, gîtes).

La baignade se situe sur la rive Est du lac. La plage dispose d'un poste de secours, avec un surveillant présent l'après midi et de sanitaires aménagés. La zone de baignade (25 x 20 m) a un substrat sableux et une profondeur maximale d'1,5m

En 2015, la fréquentation de la baignade était d'environ 50 baigneurs/ j, chiffre pouvant monter à 230 (Athos environnement). Le site connaît des pics de fréquentation journalière lors de fortes chaleurs allant jusqu'à 5000 visiteurs et les baigneurs se répartissent tout le long du linéaire Est du lac.

La baignade est classée excellente depuis 2020. En 2019, 2020 et 2021, des blooms de cyanobactéries toxigènes ont conduit à l'interdiction de la baignade, la plus longue période de fermeture (3 semaines) ayant eu lieu en 2021. En septembre 2022, un accord général de collaboration entre le SIGLD, le laboratoire UMR 5600 EVS, l'IUT et l'université de Saint Etienne a créé un site atelier afin d'acquérir des connaissances et des données sur les cyanobactéries et lutter contre leurs proliférations estivales à Devesset. Les chercheurs du laboratoire EVS ont relevé un bloom de *Woronichinia* au niveau de la digue du lac en octobre 2023. Le 29 août 2023, l'analyse de la colonne d'eau (zone euphotique) au point de plus grande profondeur a montré un biovolume de *Woronichinia* >1 mm³ alors que l'analyse à la plage était conforme. Enfin, un bryzoaire invasif, *Pectinatella magnifica* prolifère dans le lac l'été. De nombreuses colonies de *Woronichinia* sont observées à la surface du bryzoaire et des espèces filamenteuses (*Oscillatoria*, *Pseudanabaena* et *Anabaena*) colonisent la face interne. La présence en grand nombre de cyanobactéries potentiellement productrices de toxines associées au bryzoaire fait craindre un accroissement du risque pour les usagers du lac.

Dans ce contexte, le volet scientifique de l'AMI a pour but principal d'évaluer le risque cyanobactéries en prenant en compte *Pectinatella* et en échantillonnant en plus de la baignade surveillée, deux autres zones fréquentées par les usagers (plage dite des chiens près de la digue et milieu du lac (zone euphotique). Les proliférations de cyanobactéries étant favorisées par les nutriments phosphorés et azotés, l'apport de ces éléments par les tributaires du lac ou le relargage des sédiments lors du brassage de la colonne d'eau seront également mesurés.

I- Protocole scientifique mis en œuvre en 2024

1) Mesure des flux de nutriments apportés par les tributaires et dans le lac

4 campagnes de prélèvements ont été effectuées dans les 9 tributaires du lac de Devesset les 31/07, 14/08, 10/9 et 30/9. La campagne d'août a été faite 20h après un fort épisode pluvieux (110 mm en 2h). Les points de prélèvement sont localisés sur la Figure 1, A.

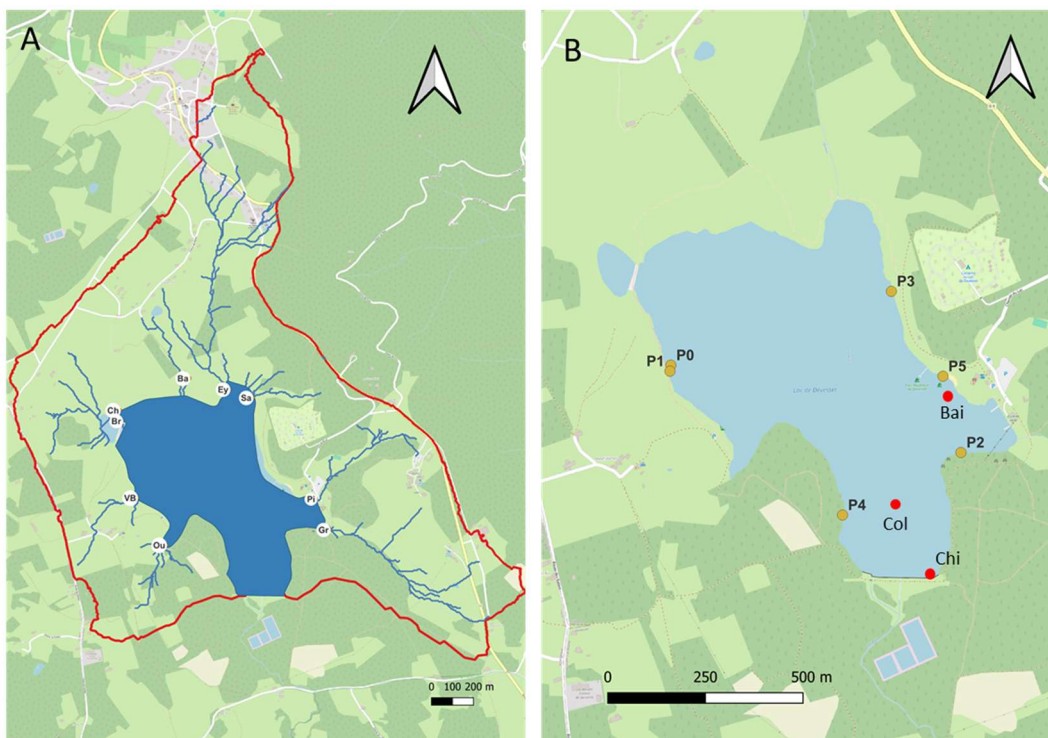


Figure 1 : Carte du lac de Devesset montrant les points de prélèvement (A) : des tributaires et (B) des *Pectinatella* (points jaunes) et des échantillons d'eau pour détermination des cyanobactéries (points rouges)

La température, le pH, la conductivité et la teneur en d'oxygène ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamétrique (Aquaprobe AP-2000, SDEC) et des prélèvements d'eau ont été effectués en vue du dosage des différentes formes du phosphore (phosphore total et orthophosphates) et de l'azote (azote total, nitrate). Les dosages d'azote et de phosphore ont été effectués par analyse en flux, à l'IUT de Saint Etienne. Les résultats de la physicochimie sont disponibles en Annexe 1.

2) Evaluation de la désoxygénation du lac

Les profils verticaux de température et d'oxygène ont été établis toutes les semaines, au point de plus grande profondeur du 11 juin au 1^{er} octobre 2024. La température et la teneur en d'oxygène ont été mesurées tous les mètres, de -30 cm de profondeur jusqu'au fond du lac, à l'aide de la sonde multiparamétrique.

3) Dynamique des cyanobactéries

Entre le 21 mai (semaine 21) et le 1^{er} octobre 2024 (sem 40), 12 prélèvements d'eau ont été effectués soit par CARSO au niveau de la baignade surveillée (BAI), soit par EVS à la plage des chiens (CHI) et dans la colonne d'eau (échantillonnage de la zone euphotique, COL). Les points de

prélèvements sont indiqués Figure 1, B. Le dénombrement et l'identification des cyanobactéries ont été effectués par le laboratoire CARSO.

4) Cyanobactéries et toxines associées à *Pectinatella*

Les colonies de *Pectinatella* ont été recensées sur le pourtour du lac, soit en cheminant le long de la berge, soit à bord d'un canoé. Dans les zones de forte concentration, un échantillon d'eau et des spécimens de *Pectinatella* ont été récoltés. Les toxines intra et extracellulaires ont été déterminées dans l'eau baignant les bryozoaires à l'aide des tests ELISA Microcystines-ADDA et Anatoxine-a de Eurofins Abraxis. Les pectinatelles ont été observées au microscope pour repérer d'éventuelles cyanobactéries.

II- Résultats préliminaires

1) Suivi des flux de nutriments des tributaires

Les résultats des dosages des nitrates, azote Kjeldahl, azote total et phosphore total sont présentés en Annexe 2. La forme minérale de l'azote a été dosée sous la forme des oxydes d'azote (Nox), soit la somme des nitrites et des nitrates. Les analyses d'eau antérieures (CARSO et Terrana) ont permis de montrer une absence de nitrites dans les eaux du lac, ainsi, on peut assimiler les Nox aux nitrates. Si on utilise le référentiel du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 sur les critères d'évaluation de l'état écologique, les teneurs en nitrates de tous les tributaires sont très bonnes. Dans la majorité des cas, les résultats obtenus pour le bilan du phosphore (P) correspondent aux classes de qualité « Bonne » à l'exception de 4 tributaires. Les tributaires « Pioulouse » et « Eyrieux » présentent une qualité « Moyenne » sur 2 campagnes des 4 réalisées. Le tributaire « Les Saules » présente une qualité « Médiocre » durant la campagne post pluie. Enfin, le tributaire « Chêne » présente la plus mauvaise qualité avec une campagne classée « Moyenne » et une campagne classée « Mauvaise » (=2.3 mg P/L) sur 3 campagnes réalisées. Le ministère de l'environnement de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs donne pour le paramètre phosphore total une limite de 0.03 mg de P/L pour « limiter la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques dans les ruisseaux et les rivières », en précisant que cette « valeur protectrice pour les cours d'eau, n'assure pas toujours la protection des lacs en aval »¹. En se basant sur ce critère, tous les tributaires à toutes les campagnes dépassent cette valeur.

Pour l'azote total, une concentration >1mg/L indique un risque d'eutrophisation (Carr et Rickwood, 2008²). On note un excès d'azote total dans tous les tributaires le 31 juillet. Seuls le Grail et Bachasson ont des valeurs en dessous du seuil pour les autres campagnes. La part des nitrates dans la charge en azote total est relativement faible à l'exception de l'Eyrieux où le nitrate représente la principale source d'azote total à partir du 14 août. Dans le « Grail », le nitrate représente en moyenne 41% de la charge en azote total. Il est important de noter, qu'à moindre mesure, « l'Oustau », « les Brochets » et « Bachasson » contribuent également à l'apport de nitrates dans le lac. Nous n'avons réalisé qu'une seule campagne pluviale ne permettant pas de mettre en évidence d'effet d'apport de nutriments dans le lac par ruissellement.

Les nutriments azotés et phosphorés peuvent provenir d'une source anthropique liée aux activités agricoles ou au rejet d'eau usées domestiques. L'azote organique peut aussi provenir des acides humiques. Nous avons reporté sur la carte de la Figure 1Figure 2, les données issues des diagnostics du SPANC³ concernant l'état des installations d'assainissement non collectif des habitations dans le bassin versant du lac de Devesset de 2015 à 2020, les résultats de l'enquête de la chambre d'agriculture

¹ https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0393

² Carr et Rickwood, 2008. Water Quality Index for Biodiversity Technical Development Document

³ Service public d'assainissement non collectif Syndicat Eyrieux Clair

de l'Ardèche sur les pratiques agricoles⁴ et nos mesures de nutriments. Sont montrés également les sous bassins versants que nous avons identifiés. On observe que le Grail (3) est de bonne qualité pour le phosphore et l'azote en dépit de la présence de 2 ANC non conformes. L'Eyrieux (1) a la plus forte concentration en azote et est aussi impacté par le phosphore. Les agriculteurs ont déclaré avoir effectué en 2020 un apport élevé en azote (>100 kg/Ha/an) et des apports moyens (jusqu'à 50 kg/Ha/an) d'engrais phosphatés sur les parcelles notées en violet. Dans le sous bassin versant 4 où des apports élevés d'engrais azotés et phosphorés ont été effectués en 2020 et le 6 qui concentre plusieurs ANC non conformes, les tributaires ne sont pas impactés par le phosphore et peu par l'azote. Ainsi on ne peut corrélérer des apports avec des concentration de nutriments dans les tributaires. Il faut avoir à l'esprit le décalage entre nos mesures et les dates des diagnostics. A la fois l'occupation des parcelles et les pratiques ont pu être modifiées. La notion de flux n'est ici pas prise en compte de même que le paysage et les infrastructures comme les routes, qui peuvent modifier les ruissellements et la délimitation du bassin versant. Par contre, il y aurait un véritable intérêt à produire cette carte à partir d'un jeu de données actualisé et complet sur une même année tenant compte des paramètres évoqués.

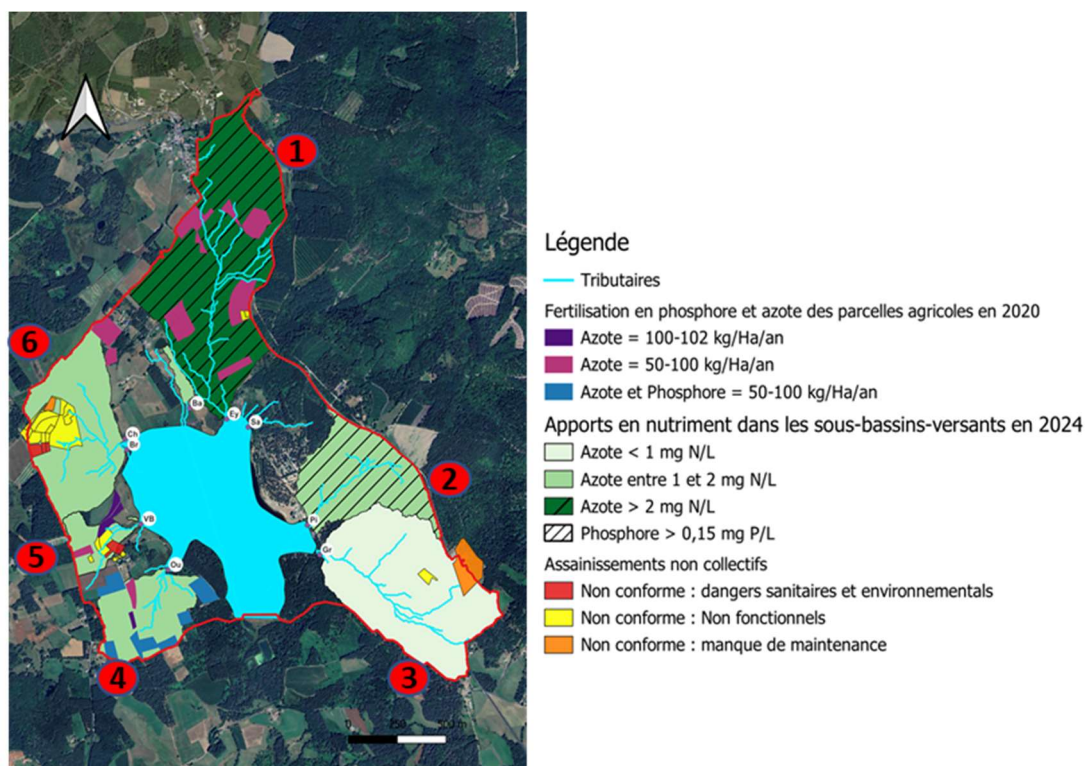


Figure 2: Cartographie des flux de nutriments et des zones d'apports (@S. Autret)

2) Suivi de la désoxygénation du lac

La désoxygénation a commencé en mai, mais un refroidissement des températures a conduit au brassage de la colonne d'eau. La stratification du lac s'est établie de manière stable à partir du 18 juin et s'est maintenue jusqu'à mi-septembre (Figure 3). En juillet, seules 2 pluies modérées ont eu lieu, le 11/07 avec 26 mm d'eau et le 21/07 avec 21 mm d'eau. Nos analyses des nutriments ne permettent pas de faire un lien entre ces épisodes pluvieux et le bloom. Le bloom de fin juillet a eu lieu au moment où les températures de surface étaient maximales, la chaleur seule pourrait être le

⁴ Forel, E. 2023. Lac de Devesset : Pratiques agricoles, état des risques et perspectives. Chambre d'agriculture de l'Ardèche. Présentation orale

facteur déclenchant. Les orages de mi-août ont brassé momentanément la colonne d'eau et abaissé la température de surface sous les 20°C. Le petit réchauffement de la semaine 35 (3-9 septembre) a été immédiatement suivi d'une baisse nette des températures, non favorable à un bloom tardif.

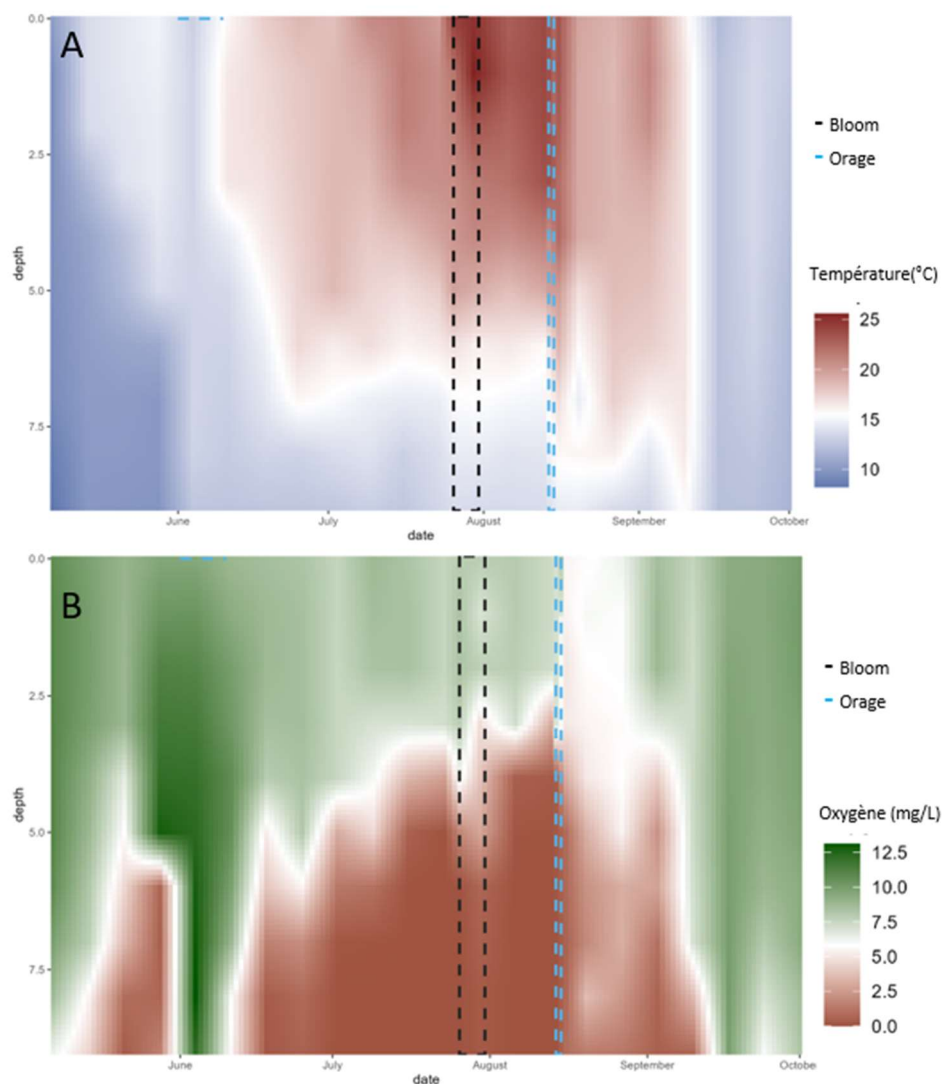


Figure 3 : Profils thermique et oxygéniques du lac de Devesset

3) Dynamique des cyanobactéries

Au cours de la saison, le biovolume de cyanobactéries toxigènes a toujours été $<1\text{mm}^3/\text{L}$ avec une nette dominance de *Woronichinia* et *Dolichospermum*. Au total, 8 genres toxigènes ont été détectés au cours de la saison 2024. Les cyanobactéries non toxigènes représentaient une part très faible du peuplement de la baignade et de la colonne d'eau. Elles étaient un peu plus représentées à la plage des chiens qui a une plus grande diversité de genres, notamment, de genres filamenteux comme *Phormidium*, *Limnothrix* et *Oscillatoria* (Figure 4).

Le 26 Juillet 2024, lors d'une reconnaissance en canoé des berges du lac, nous avons observé des paillettes vertes en suspension dans l'eau et des nappes jaunes épaisses sur la rive Est du lac et la plage des chiens (Figure 5). Le débarcadère de la base de voile était touché, et juste quelques particules vertes étaient présentes au niveau de la baignade surveillée. Nos observations microscopiques ont

révélé la présence de *Microcystis*. L'analyse précédente du 16 juillet était la première montrant la présence de *Microcystis* au niveau de la baignade (0,1245mm³/L) et de la plage des chiens (0,1566 mm³/L).

Nous avons averti l'ARS qui a fait procéder le 31 juillet à des analyses de cyanobactéries et de microcystines au niveau de la baignade, de la plage des chiens, de la base de voile et de la colonne d'eau. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. On observe que les résultats sont tous conformes (Biovolume de cellules toxigènes <1 mm³/L et microcystines <0,3 µg/L). Les toxines n'ont pas été détectées dans la colonne d'eau et à la plage des chiens. La base de voile présentait une quantité encore élevée *Microcystis* (0,4358 mm³/L) mais une très faible quantité de toxine. C'est à la baignade surveillée où aucun *Microcystis* n'a été détecté que le taux de toxines était le plus élevé (0,24 µg/L)

Le 31 juillet, les efflorescences n'étaient plus visibles, à l'exception d'une zone d'accumulation de moins d'1m² sous les arbres le long de la berge dans la zone de quiétude, au Nord-Ouest du lac. Pendant la durée du bloom, nous avons recommandé d'éviter que les enfants se mettent à l'eau au débarcadère de la base de voile et que les personnes louant des embarcations s'approchent des nappes de surface. Ces recommandations ont été suivies et aucun problème de santé n'a été remonté.

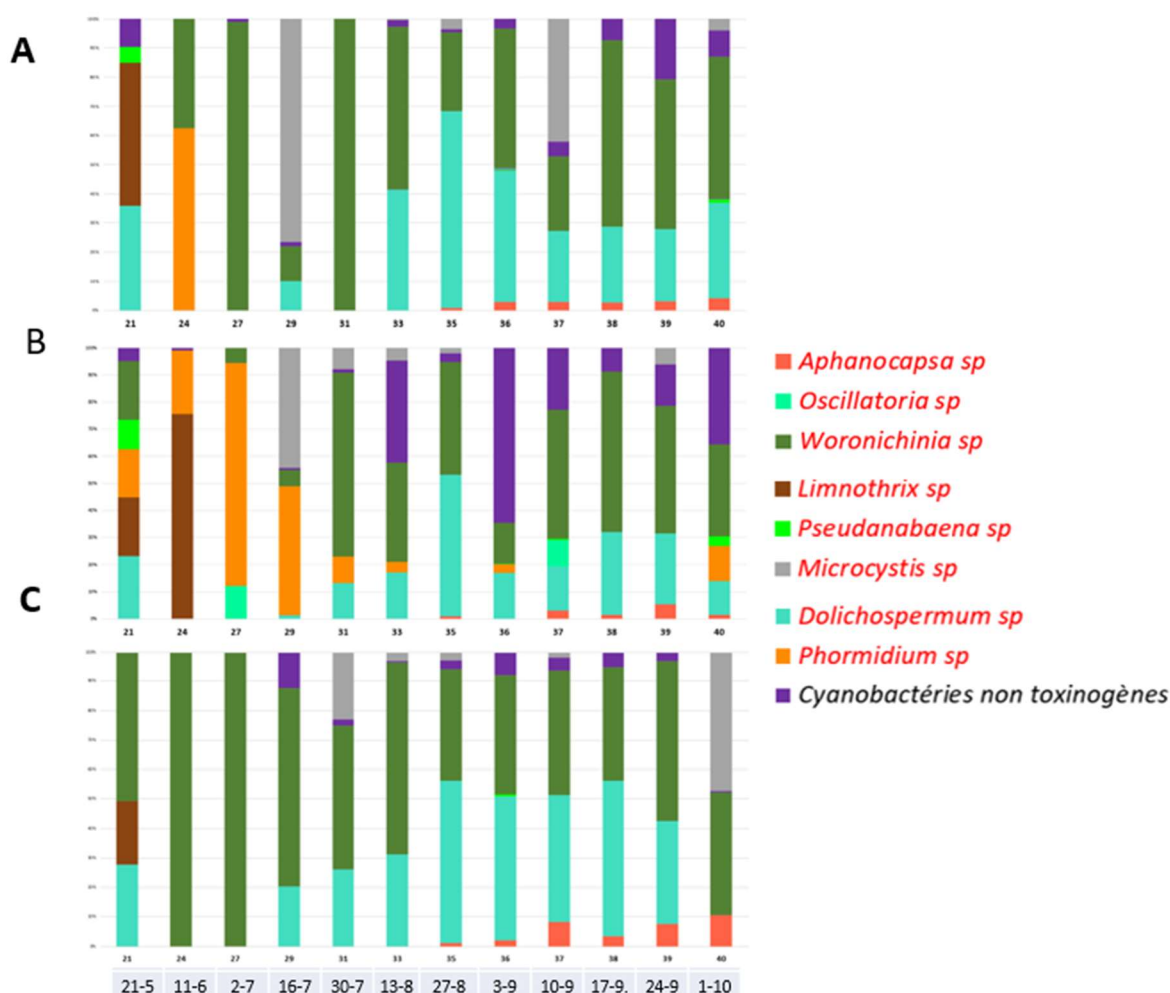


Figure 4: Suivi des cyanobactéries de la baignade surveillée (A), de la plage des chiens (B) et de la colonne d'eau (C). Chaque genre est représenté en % du biovolume total

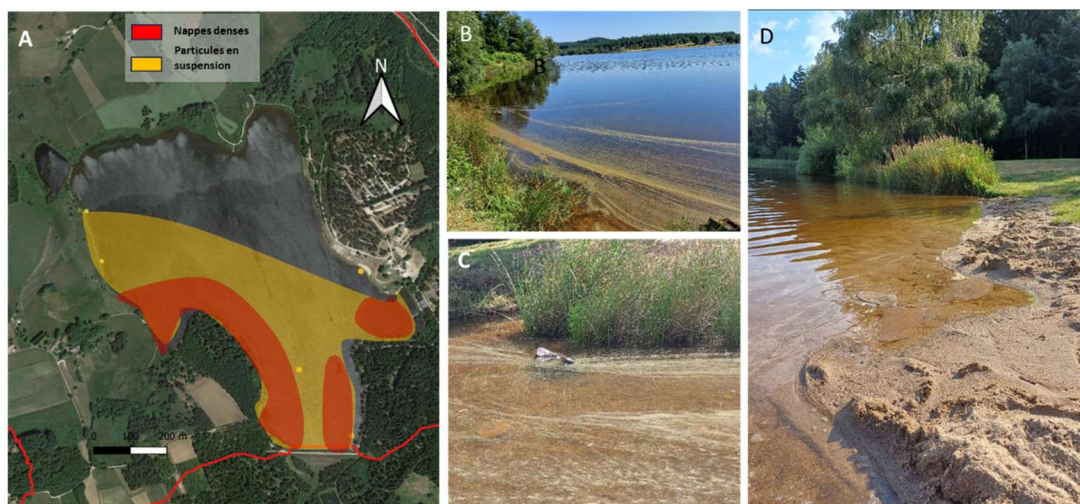


Figure 5: Bloom de Microcystis de juillet 2024
Zones affectées par les blooms (A), nappes jaunes sur la rive Est du lac, (B), à la plage des chiens, nappes de surface (C) et dépôts de Microcystis sur la rive (@S. Autret et F. Girardot)

Tableau 1: Résultats des Analyses du 30 juillet 2024
(limite de qualité des microcystines: 0,3 µg/L, A : Anatoxines, C : cylindrospermopsines), M : microcystines)

Analyses CARSO	Baignade		Plage des chiens	
	Cellules / mL	Biovolume (mm ³ /L)	Cellules / mL	Biovolume (mm ³ /L)
31/7/24				
Dolichospermum (ACS)			48	0,0139
Gomphosphaeria			114	0,0013
Woronichinia (M)	2095	0,0314	4755	0,0713
Microcystis (M)			165	0,0083
Phormidium (MAC)			58	0,0103
Cyano Totales	2095	0,0314	5140	0,1050
Toxinogènes	2095	0,0314	5026	0,1037
Microcystines (µg/L)	0,24		<0,15	

Analyses CARSO	Base de voile		Colonne d'eau	
	Cellules / mL	Biovolume (mm ³ /L)	Cellules / mL	Biovolume (mm ³ /L)
31/7/24				
Chroococcus			6	0,0007
Coelomonon			24	0,0002
Dolichospermum (ACS)	32	0,0093	80	0,0232
Gomphosphaeria			57	0,0006
Microcystis (M)	8716	0,4358	408	0,0204
Snowella			24	0,0002
Woronichinia (M)	5094	0,0764	2888	0,0433
Cyano Totales	13842	0,5215	3487	0,0886
Toxinogènes	13842	0,5215	3376	0,0869
Microcystines (µg/L)	0,16		<0,15	

4) Cyanobactéries et toxines associées à *Pectinatella*

Pectinatella magnifica, ou Pectinatelle, est un organisme colonial se développant sous la forme de masses gélatineuses pouvant atteindre la taille d'un ballon (Figure 6). Celle-ci sont fermes au touché. Les colonies sont souvent fixées à un support solide comme des branches ou des pierres immergées dans des eaux généralement peu profondes.



Figure 6 : Colonies de *Pectinatella* (@S.Autret, F. Girardot)

La période de croissance des colonies se situe entre juillet et août lorsque la température de l'eau approche 20°C.

Les individus appelés zooïdes se développent sur une fine couche à la surface de cette masse. Ils sont organisés en rosettes (Figure 7A) et peuvent former des colonies de plusieurs milliers d'individus. En fin de saison (fin septembre-courant octobre), les colonies se détachent du substrat, les zooïdes se dégradent et seules les masses gélatineuses sont observables, flottantes dans l'eau.

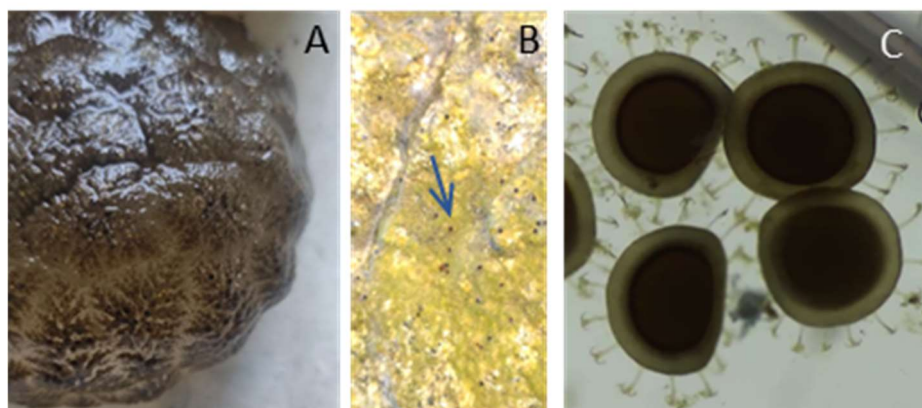


Figure 7: Rosettes de zoïdes (A) et statoblastes (B, C), @S.Autret, F. Girardot

Les individus produisent tout au long de leur cycle de vie, des statoblastes qui sont leur forme de reproduction principale (Figure 7, B et C). Ces éléments permettent à l'espèce de passer la période hivernale. Les statoblastes se présentent sous forme de capsules flottantes avec des épines permettant leur dissémination en se fixant à des supports. Lorsque les conditions sont à nouveau favorables, les statoblastes forment des larves à l'origine de nouvelles colonies.

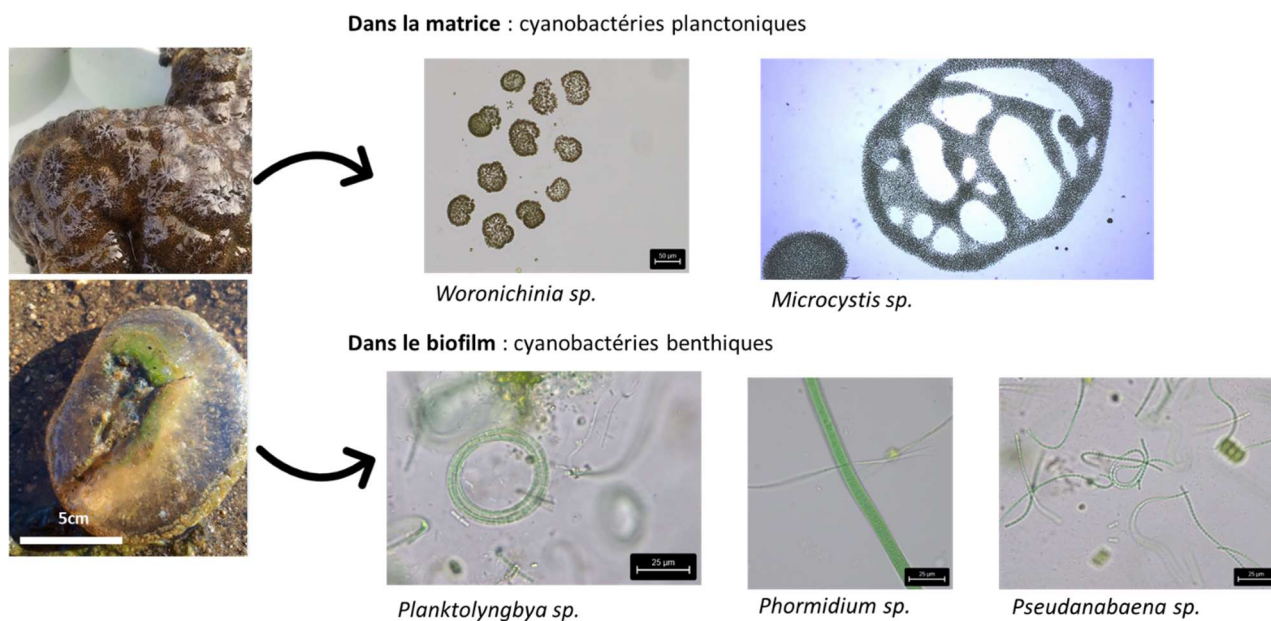


Figure 8 : Association *Pectinatella*/cyanobactéries

Très souvent, on remarque des dépôts verdâtres sous les colonies de *Pectinatella*. Ces dépôts constituent en fait un biofilm riche en microorganismes, particulièrement des microalgues et cyanobactéries potentiellement toxigènes comme *Planktolyngbya*, *Phormidium* ou *Pseudanabaena* (Figure 8). Nos observations ont également révélé la présence de *Woronichinia*, un genre planctonique dans la matrice abritant les zoïdes. Curieusement, lors du bloom de *Microcystis* de juillet 2024, aucune *Pectinatella* présente dans la zone impactée n'était colonisée par *Microcystis*.

Tableau 2 : Teneurs en cyanotoxines dans une zone envahie par les *Pectinatella* (P0 correspond au spot témoin sans *Pectinatella*)

		Microcystines (µg/L) (LQ=0,3)			Anatoxines (µg/L) (LQ=0,15)
12/08	P0	Non détectée	21/08	P0	Non détectée
	P1	0,114		P1	0,115
	P2	0,087		P2	Non détectée
21/08	P0	Non détectée	02/09	P0	Non détectée
	P1	0,066		P1	Non détectée
	P2	0,083		P2	0,094
02/09	P0	Non détectée		P3	0,044
	P1	0,122	17/09	P0	Non détectée
	P2	0,097		P1	0,101
17/09	P3	0,103		P4	Non détectée
	P0	Non détectée			
	P1	0,076			
	P4	0,066			

Nous avons dosé les microcystines et anatoxines dans l'eau de zones envahies par les *Pectinatella* (P1, P2, P3 et P4) et dans une zone non envahie (P0). Les résultats sont présentés dans le Tableau 2. Nous n'avons pas détecté de toxines dans le spot témoin (P0) mais les microcystines ont systématiquement été mesurées, sauf en octobre en P1 et P4 (résultats non montrés). A plusieurs reprises, nous avons également détecté des anatoxines. Les taux de toxines mesurés sont inférieurs à la limite de qualité établie pour la baignade, mais il faudra être vigilants en cas d'invasions fortes dans une faible hauteur d'eau.

Annexe 1: Analyses physicochimiques des tributaires

Date	Nom	Temp (°C)	Conductivité (µS/cm²)	pH	O ₂ (mg/L)
31-juil	Pioulouse	17,8	290	7,9	5,9
	Le grail	14	77	8,81	8,92
	Oustau	14,4	66	7,72	4,6
	Volet blanc	17,4	100	6,5	3,47
	Brochet	15,2	44	6,15	0,86
	Chêne	à sec			
	Bachasson	20,7	80	6,57	5,59
	Eyrieux	14,8	117	6,86	8,32
	Saules	17,3	90	5,95	5,07
14-août	Pioulouse	15,5	276	6,13	5,46
	Le grail	14,9	143	7,41	7,68
	Oustau	15,5	133	6,24	3,23
	Volet blanc	16,7	159	6,21	6,22
	Brochet	15,9	148	4,69	6,22
	Chêne	14,5	49	7,69	2,12
	Bachasson	18,9	103	4,36	6,55
	Eyrieux	15,6	200	7,26	8,18
	Saules	15,1	176	8,44	5,33
10-sept	Pioulouse	11,2	186	6,32	7,65
	Le Grail	11,3	129	7,4	8,65
	Oustau	14,8	115	6,32	4,25
	Volet blanc	14,7	128	6,6	7,81
	Brochet	12,3	65	6,28	6,71
	Chêne	trop boueux			
	Bachasson	14,8	82	6,29	8,26
	Eyrieux	12,8	106	7,25	8,97
	Saules	12,6	168	7,76	6,78
30-sept	Pioulouse	10,5	173	6,58	8,53
	Le grail	10,4	95	7,84	8,74
	Oustau	10,6	45	6,27	4,22
	Volet blanc	12	61	5,18	6,95
	Brochet	11,9	52	7,55	8,7
	Chêne	Trop boueux			
	Bachasson	12,7	57	6,31	8,25
	Eyrieux	11,9	109	7,03	8,93
	Saules	11,4	114	6,7	5,7

Annexe 2: Mesure des nutriments dans les tributaires du lac de Devesset

Date	Nom	Nitrates (mg NO ₃ ⁻/L)	Ntotal (mg N/L)	Ptotal (mg P/L)
31-juil.	Pioulouse	0,111	1,58	0,35
	Le grail	1,31	1,57	0,08
	Oustau	0,111	1,86	0,11
	Volet blanc	0,111	2,91	0,12
	Brochet	0,111	1,11	0,1
	Chêne	à sec		
	Bachasson	0,877	2,01	0,15
	Eyrieux	0,487	2,74	0,27
	Saules	0,111	1,91	0,13
14-août	Pioulouse	0,111	4,03	0,24
	Le grail	1,279	0,76	0,1
	Oustau	0,221	1,15	0,1
	Volet blanc	0,111	1,86	0,1
	Brochet	0,943	1,63	0,14
	Chêne	0,111	0,59	0,11
	Bachasson	0,403	0,99	0,14
	Eyrieux	6,839	2,29	0,09
	Saules	0,111	3,4	0,56
10-sept.	Pioulouse	0,111	0,57	0,08
	Le Grail	1,005	0,69	0,08
	Oustau	0,111	1,27	0,08
	Volet blanc	0,111	1,72	0,08
	Brochet	0,111	1,08	0,1
	Chêne	0,354	1,22	0,25
	Bachasson	0,111	0,91	0,12
	Eyrieux	5,582	1,52	0,08
	Saules	0,111	0,39	0,07
30-sept.	Pioulouse	0,111	0,45	0,09
	Le grail	1,541	0,63	0,07
	Oustau	0,305	1,07	0,08
	Volet blanc	0,111	1,18	0,08
	Brochet	0,328	0,81	0,08
	Chêne	0,111	9,44	2,3
	Bachasson	0,593	0,81	0,14
	Eyrieux	6,299	1,5	0,24
	Saules	0,111	0,69	0,2

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon/ Bon	Bon/ Moyen	Moyen/ Médiocre	Médiocre/ Mauvais
Phosphore total (mg P/L)	0.05	0.2	0.5	1
Nitrates (mg NO ₃ ⁻/L)	10	50	*	*

Limites des classes d'état arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface

Pour la colonne Ntot, en rouge, valeurs > 1 mg/L