

2024

Etude du caractère envahissant de la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) sur le contre canal du Rhône, rive droite.



Stagiaire : Marius André, Université de Rennes, Master GHBV, 2024

Responsable de stage : Julie Marais, directrice adjointe FD30



Table des matières

Introduction :	1
1 Matériels et méthode :	3
1.1 <i>Pistia stratiotes</i> , L. :	3
1.2 Zone d'étude :	4
1.3 Physico-chimie :	6
1.4 Cartographie :	8
1.4.1 Cartographie de <i>Pistia stratiotes</i> :	8
1.4.2 Interactions entre <i>P. stratiotes</i> et les autres plantes aquatiques :	9
1.5 Vie subaquatique :	10
1.6 Analyses statistiques :	11
1.6.1 Physico-chimie :	11
1.6.2 Cartographie :	11
2 Résultats :	12
2.1 Physico-chimie :	12
2.1.1 Tronçon 2.....	13
2.1.2 Tronçon 3 :	14
2.1.3 Sonde de température :	15
2.1.4 Sonde de pénétration de la lumière dans l'eau :	16
2.2 Développement de la végétation aquatique :	16
2.2.1 Colonisation de <i>P. stratiotes</i> :	16
2.2.2 Interaction entre <i>P. stratiotes</i> et les autres plantes aquatiques :	20
2.3 Vie subaquatique :	23
2.3.1 Faune aquatique :	23
2.3.2 Flore aquatique :	25
2.3.3 Granulométrie :	25
3 Discussion :	26

3.1	Influence de <i>P. stratiotes</i> sur les paramètres physico-chimiques :	26
3.2	Colonisation du contre canal par <i>P. stratiotes</i> :	28
3.3	Plongées :	29
3.4	Gestion CNR :	30
3.5	Communication sur <i>Pistia stratiotes</i> :	31
	Conclusion :	33
	Bibliographie :	1
	Annexes :	1

Table des figures :

Figure 1 : Colonie de Pistia stratiotes.....	3
Figure 2 : Carte présentant les différents tronçons avec la localisation des transects.....	5
Figure 3 : Points de prélèvements physico-chimiques type au sein d'un tronçon	7
Figure 4 : Bouée témoin du tronçon 1	7
Figure 5 : Bouée test du tronçon 2	7
Figure 6 : Schéma du montage de la sonde de pénétration de la lumière dans l'eau.....	7
Figure 7 : Positionnement du drone	9
Figure 8 : Disposition des quadrats	10
Figure 9 : Évolution des différents paramètres physico-chimique sur les différents tronçons du contre-canal	13
Figure 10 : Boxplot présentant les différences pour chaque paramètre entre le tapis dense de P. stratiotes et l'eau libre sur le tronçon 2. Significativité : 0.05'*' ; 0.01'***'	14
Figure 11 : Boxplot présentant les différences entre le tapis dense P. stratiotes et l'eau libre pour les différents paramètres étudiés sur le tronçon 3.	15
Figure 12 : Evolution des températures journalières moyenne du contre canal (tronçon 3) entre juin 2023 et août 2024.....	15
Figure 13 : Evolution de la moyenne de la luminosité journalière entre le 02/07/2024 et le 16/08/2024.....	16
Figure 15 : Carte présentant l'avancée du front de colonisation de tapis de P. stratiotes sur le tronçon 2.....	17
Figure 14 : Carte présentant la colonisation de Pistia stratiotes en amont de l'ouvrage sur le tronçon 3.....	18
Figure 16 : Evolution de la surface colonisée en Pista stratiotes tout au long du suivi sur les différents tronçons.....	19
Figure 17 : Evolution de la richesse spécifique par quadrat au fil des mois	20
Figure 18 : Évolution de la diversité de Simpson par quadrat au fil des mois.....	21
Figure 19 : A : Evolution de la présence de P. stratiotes au sein des quadrats au fil des mois, et B : la proportion de chaque classe d'abondance en P. Stratiotes par quadrat au fil des mois...	22
Figure 20 : Boxplot présentant la diversité de Simpson en fonction du recouvrement en laitue d'eau. La p-value présente le résultat du test de Kruskal-Walis. Les lettres présentent la différence entre chaque classe de recouvrement.	23

Figure 21 : Faune aquatique rencontrée lors de la première plongée le 18/04/2024. A : Goujon, B : Ecrevisse de Louisiane, C : Tortue de Floride, D : Gardon.....	24
Figure 22 : Banc de juvéniles de gardons et d'ablette sous une colonie de P. stratiotes lors de la plongée du 20/07/2024	24
Figure 23 : Observation du fond du contre canal composé de vase	25
Figure 24 Plaquette d'information sur la laitue d'eau	32

Table des tableaux :

Tableau 1: Longueur des tronçons.....	6
Tableau 2 : Prélèvements physico-chimique	6

Introduction :

Les écosystèmes d'eau douce sont des habitats considérés comme les plus vulnérables (1). En effet, le déclin de la biodiversité est plus important dans les eaux douces comparé aux écosystèmes terrestres les plus fragiles (2,3). De plus, cet habitat est souvent plus perturbé à cause des nombreuses pressions anthropogéniques qu'il peut subir notamment en lien avec l'hydromorphologie, la surexploitation de l'eau et la pollution (2,4). Ces perturbations favorisent la colonisation et la dispersion de plantes exotiques envahissantes (5,6), notamment parce que ces dernières augmentent les fluctuations dans la quantité de nutriments disponible limitant ainsi l'accès aux ressources (7).

De manière générale, le développement dense et monospécifique de toute plante aquatique peut avoir un impact sur les plantes indigènes et les autres organismes aquatiques tels que les micro et macro-invertébrés ainsi que les poissons (1,8,9). Néanmoins, les macrophytes aquatiques jouent un rôle de structuration essentiel pour les écosystèmes aquatiques (10–12). En effet, les tapis de végétaux aquatiques dotés d'une grande diversité remplissent de nombreuses fonctions pour le milieu telles que la rétention des nutriments, l'augmentation de la clarté de l'eau par la sédimentation (13–15), la nourriture générée pour les herbivores (16–18), la régulation des interactions entre les proies et les prédateurs (19,20) et des zones de refuge pour les poissons (21). Globalement, les bénéfices cités précédemment pourraient être fournis par les plantes exotiques envahissantes (22,23).

Les espèces exotiques envahissantes sont des plantes qui sont dites non-indigènes, c'est-à-dire qu'elles proviennent d'une région géographique différente de celle où elle se trouve. Ces dernières sont le fruit d'introduction volontaire (élevage, ornementation, intérêt scientifique, etc.), involontaire (transport de semences, lests de navires etc.) (24,25) ou encore naturelle par le biais de migration que ce soit par le biais des oiseaux, de l'eau ou du vent (26).

Toutes les plantes exotiques ne sont pas dangereuses pour le milieu, mais certaines disposent de traits spécifiques qui leur permettent d'être plus compétitives que les plantes indigènes (27,28). De plus, le changement climatique favorise l'implantation d'espèces exotiques (29). Les plantes aquatiques exotiques introduites qui deviennent envahissantes bénéficient d'une meilleure capacité de reproduction et de dispersion, mais également d'une plasticité phénotypique plus élevée et d'une meilleure adaptation aux ressources disponibles (30–32). Elles posent donc de nombreux problèmes tant sur le plan écologique qu'économique (33,34). Du point de vue de l'écologie, les impacts sont liés à des facteurs environnementaux

tels que la lumière (35), le pH, la concentration en oxygène dissous et en dioxyde de carbone (36,37). En outre, les tapis denses de macrophytes aquatiques peuvent augmenter le risque d'inondation (38,39), limiter la navigation (38), limiter l'accès et donc les activités aquatiques (40), ainsi que bloquer les usines hydroélectriques (41).

La laitue d'eau (*Pistia stratiotes* L.) est une plante aquatique libre flottante de la famille des *Aracea*. Originaires d'Amérique du sud (42), elle s'est répandue dans les régions tropicales et subtropicales du monde (43). En effet, cette plante est utilisée comme plante ornementale dans les aquariums et dans les bassins (38,44). L'espèce est considérée comme problématique dans les pays où elle est présente (45,46). *P. stratiotes* se plaît particulièrement dans les rivières avec un faible courant, les lacs, les canaux d'irrigation, les étangs et les fossés (47–50), ainsi que dans des lieux avec de fortes teneurs en nutriments (51). La laitue d'eau se développe de manière exponentielle et forme des tapis denses de végétation qui posent divers problèmes, notamment sur la biodiversité et la physico-chimie de l'eau (46,52,53).

P. stratiotes est présente dans quinze pays de l'Union européenne (43). Cette plante est depuis 2022 inscrite dans la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union Européenne (54). La première apparition de l'espèce date de 1973 aux Pays-Bas (55). Aujourd'hui, elle est établie de manière permanente en Autriche (56), en Slovénie (57), en Allemagne (49) en Italie (58) et en France (43). En France, les premières données concernant l'espèce datent de 1998 dans la région méditerranéenne (59). Aujourd'hui, la plante semble établie de manière permanente uniquement sur le contre canal en rive droite du Rhône dans le département du Gard (43). Sur cette zone, les premières observations de l'espèce datent de 2005 (60). L'hiver 2015-2016 particulièrement doux, a permis à de nombreux individus de survivre malgré sa caractéristique gélive (61). Cela a conduit à une croissance exceptionnelle de l'espèce durant le printemps et l'été 2016 (60) colonisant ainsi 17 km de cours d'eau et couvrant parfois des zones à 100%. Depuis, *P. stratiotes* se développe chaque année et est présente de manière régulière dans la région Occitanie. Afin d'endiguer ce phénomène, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) réalise depuis 2012 une gestion par enlèvement au mois de septembre (60,62). De plus, l'impact qu'exerce cette plante sur la faune et la flore du contre canal reste méconnu (62).

C'est dans ce contexte que la Fédération de pêche et de protection des milieux aquatiques (FDAAPPMA) du Gard a décidé, dans le cadre de sa fonction de protection des milieux aquatiques, de mener une étude sur le caractère envahissant de la laitue d'eau.

Cette dernière comprend plusieurs volets de différentes natures. La première partie traite de la physico-chimie de l'eau, à savoir s'il existe des différences de paramètres sous *P. stratiotes* et en dehors. La deuxième partie traite de l'interaction entre la laitue d'eau et les autres espèces de plantes aquatiques au travers notamment de la cartographie des milieux. Enfin, la dernière partie s'intéresse à l'interaction entre la faune piscicole et la plante.

1 Matériels et méthode :

L'étude fait suite à une étude préliminaire réalisée en 2023 qui s'était focalisée sur la partie physico-chimique et cartographique durant trois mois, de juin à septembre. Pour cette année, l'étude a commencé au mois de mars et s'est voulue plus diversifiée avec notamment une partie sur l'interaction entre la laitue d'eau et les autres plantes.

1.1 *Pistia stratiotes*, L. :

La laitue d'eau est une plante aquatique libre flottante en forme de rosette obovale spatulée à poils courts. L'espèce se développe principalement de manière végétative (25,52). Elle vient former de petites colonies où les plants filles sont rattachés à une plante mère. La dispersion se fait par le détachement des stolons qui viendront former de nouvelles colonies. Cependant, même si la production de graines viables existe en Europe, notamment sur des rivières thermales, qui présentent une température élevée (49,57), la viabilité des graines n'est pas avérée en France (60). La germination des graines se fait à une température supérieure à 20 °C.



Figure 1 : Colonie de *Pistia stratiotes*

Cette espèce peut se développer dans des conditions thermiques et chimiques variables. Sa température optimale de développement est comprise entre 22 et 30 °C (51,63), mais elle peut se développer à des températures inférieures à 10 °C (49,63). En revanche, son caractère gélif fait qu'elle est sensible aux températures proches ou en-dessous de 0 °C et au gel, et meurt si elle est emprisonnée dans la glace (61). Néanmoins, elle peut survivre si ses feuilles sont en contact avec une eau à une température supérieure à 10 °C (49).

La laitue d'eau n'a pas d'ennemi naturel en Europe. Toutefois, il existe un charançon qui est un prédateur naturel de la laitue d'eau : *Neohydronomus affinis*. Ce prédateur a déjà été

utilisé dans certaines régions du monde afin de faire du biocontrôle et est considéré comme le moyen le plus efficace de lutter contre cette espèce (42). Néanmoins, son utilisation requiert des paramètres environnementaux spécifiques. De plus, l'utilisation d'organismes extérieurs peut avoir de grandes conséquences sur la biodiversité et l'espèce peut se révéler invasive et destructrice dans le nouvel environnement (64).

La principale utilisation de la laitue d'eau réside dans l'ornementation dans les aquariums et dans les bassins, notamment en Europe. Dans de nombreux autres pays, elle est souvent utilisée en phytoremédiation des métaux, des produits chimiques et du pétrole. Il est à souligner que la production de bioéthanol et de biogaz est intéressante avec des rendements similaires aux autres plantes utilisées pour cette activité (65,66). La CNR et le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) de Montpellier travaillent actuellement en ce sens afin de valoriser la laitue présente sur le contre-canal. Ces recherches ont pour objectif de tester plusieurs plantes invasives présentes dans le sud de la France sur leurs capacités à filtrer l'eau des rejets miniers.

Le développement de la laitue d'eau peut avoir de nombreuses conséquences sur les activités humaines et sur les milieux aquatiques. En effet, *P. stratiotes* peut réduire le courant et ainsi impacter les centrales hydroélectriques, ou encore limiter l'accès à l'eau pour un usage récréatif tel que la pêche (43,67). Sur le plan environnemental, l'espèce peut augmenter la mortalité des poissons et des macro invertébrés (67). De plus, les tapis peuvent limiter le brassage de l'eau et ainsi créer une stratification thermique induisant une réduction de l'oxygène dissous (67).

1.2 Zone d'étude :

L'étude se déroule sur la partie aval du contre-canal en rive droite du Rhône. Ce dernier est un ouvrage qui a été aménagé en 1970 par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Il débute au niveau de Villeneuve-Lès-Avignon et se jette dans le Gardon, sur la commune de Comps. Le contre canal dispose d'une largeur d'environ 10 m et d'une moyenne d'1,5 m de profondeur.

L'objectif de ce contre canal est d'assurer la stabilité des endiguements présents sur le Rhône. En effet, il vient drainer l'eau qui percole au travers des digues avec un point de résurgence en-dessous de la ligne d'eau du fleuve. En parallèle, il vient drainer les terres agricoles à proximité, assurant ainsi un équilibrage piézométrique des nappes (62). Ce dernier est découpé en plusieurs biefs séparés par des ouvrages régulant ainsi les niveaux d'eau. Le

contre canal dispose d'une faible pente et donc de faibles débits. Ce qui a favorisé la colonisation de certaines plantes exotiques envahissantes telles que la jussie à grandes fleurs (*Ludwigia grandiflora*) et le Myriophylle du Brésil (*Myriophyllum aquaticum*).

La zone étudiée par la Fédération de pêche du Gard mesure au total de sept kilomètres, découpée en quatre tronçons de l'amont à l'aval (Figure 2) et de longueurs variables (Tableau 1). Cette zone a été choisie en fonction de la quantité de plantes présentes. En effet, l'aval du contre canal est la zone avec le plus de laitue et où elle pose le plus de problèmes au niveau des ouvrages, restreignant ainsi les secteurs de pêche. Sur la partie amont, la laitue d'eau est présente, mais uniquement sous forme de colonie en bordure et ne créant pas de grands tapis denses.

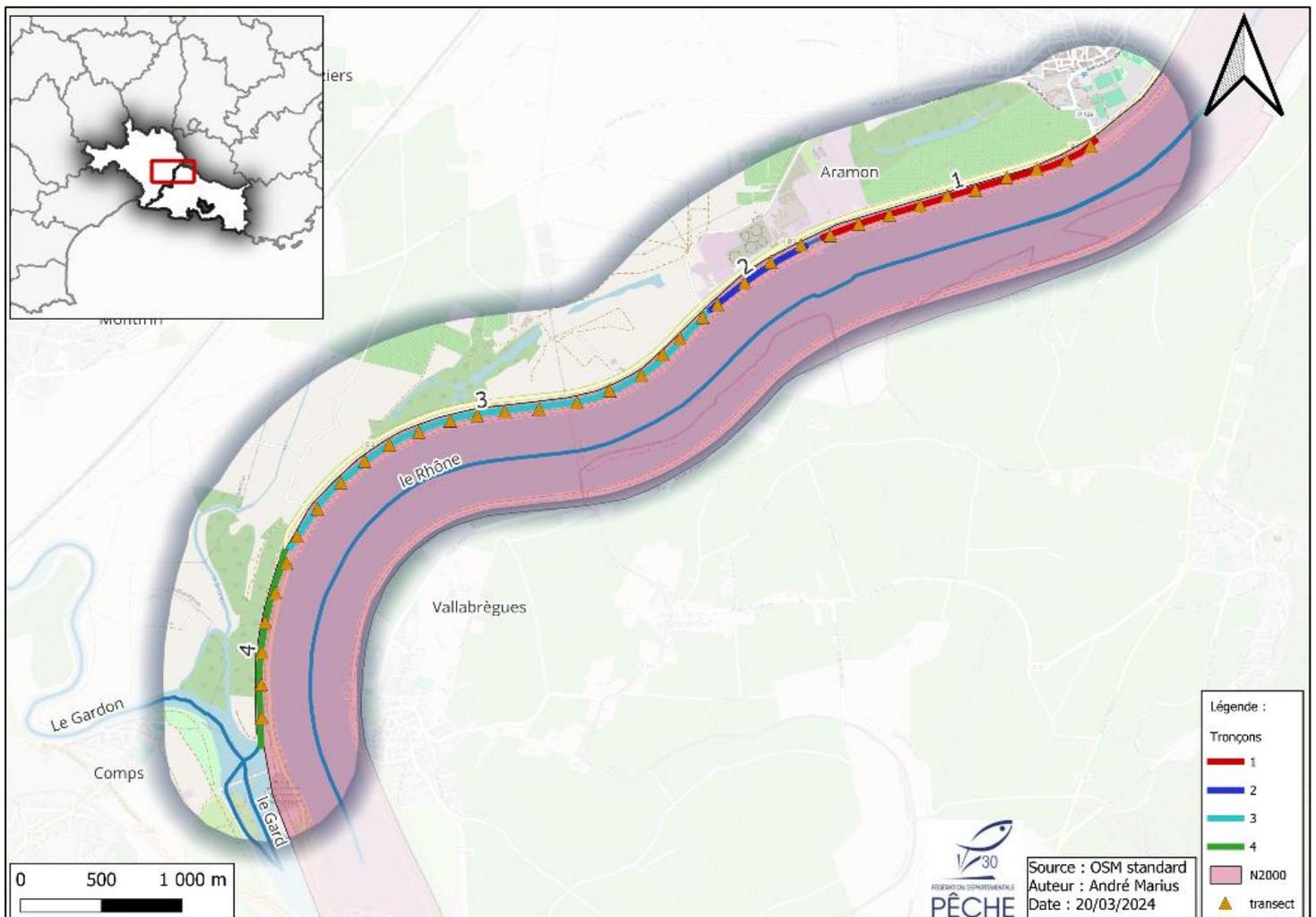


Figure 2 : Carte présentant les différents tronçons avec la localisation des transects

Tableau 1: Longueur des tronçons

Tronçon	1	2	3	4
Longueur (en m)	1796	705	3085	1228

1.3 Physico-chimie :

Le premier grand volet de l'étude a consisté à étudier la physico-chimie de l'eau afin d'identifier si *P. stratiotes* modifie les caractéristiques de l'eau du contre canal. Plusieurs paramètres ont été étudiés à des profondeurs différentes. Tableau 2.

Tableau 2 : Prélèvements physico-chimique

Paramètre :	pH, conductivité, température	Oxygène dissous, saturation en oxygène, température
Profondeur (en m) :	0,5 et 1	Tous les 0.5 m
Modèle de la sonde	Hanna Instrument	Hanna Instrument

Le suivi de la physico-chimie a débuté le 04/04/2024 et s'est terminé le 14/08/2024. Les mesures ont été réalisées toutes les semaines sur les différents tronçons. Les mesures ont été effectuées au sein de *Pistia stratiotes* et dans l'eau libre. Les relevés ont été réalisés à bord d'un canoë gonflable, au centre du contre canal pour les mesures sans laitue d'eau.

Pour les relevés sur les tronçons sans *P. stratiotes*, les points ont été évolutifs. En effet, afin de rester hors du tapis de végétation, le point a été amené à être décalé à cause de l'agglomération de *Pistia* (Figure 3).

Pour ce qui est des relevés au sein des tapis de *P. stratiotes*, ces derniers ont été faits à pied sur des points fixes au niveau des ouvrages. Une fois que *P. stratiotes* forme un tapis dense, il est impossible d'y pénétrer avec un canoë. Les points de mesures sous la laitue d'eau ont eu lieu sur les tronçons 2 et 3. Les points ont été réalisés sur les ouvrages existants, c'est-à-dire à l'amont immédiat des écluses.

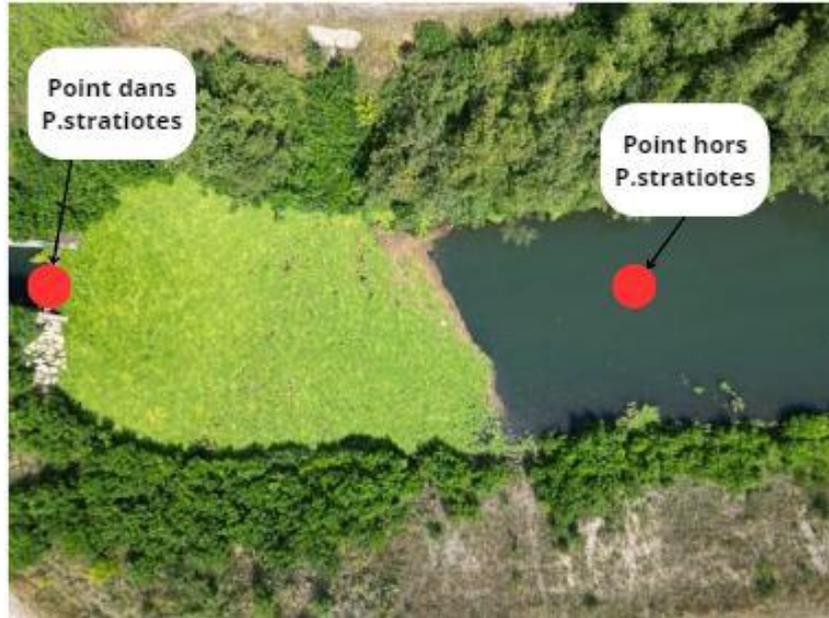


Figure 3 : Points de prélèvements physico-chimiques type au sein d'un tronçon

En parallèle, deux sondes d'enregistrement de la température et de la luminosité ont été installées le 02/07/2024, afin d'enregistrer la pénétration de la lumière dans l'eau et la température. Le modèle UA-002-64 de la marque HOBO® a été utilisé. Les deux sondes ont été installées sur le tronçon 1 et 2. Le tronçon 1 étant un tronçon sans accumulation de laitue d'eau, ce dernier a été choisi comme témoin (Figure 4) ; le tronçon 2 est quant à lui le tronçon avec la plus grande quantité de *P. stratiotes* généralement observée (Figure 5). Les sondes ont été installées à un mètre sous la surface, fixées à une corde reliée à une bouée et lestée par un moellon en béton (Figure 6).

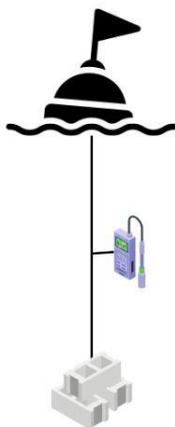


Figure 6 : Schéma du montage de la sonde de pénétration de la lumière dans l'eau



Figure 5 : Bouée test du tronçon 2



Figure 4 : Bouée témoin du tronçon 1

De plus, une sonde de température a été installée sur le tronçon 2 le 16/06/2023, et cette dernière a été récupérée le 07/08/2024. Les valeurs collectées permettent de rendre compte de la température de l'eau du contre canal pendant l'hiver.

1.4 Cartographie :

La cartographie s'est déroulée en deux temps avec deux objectifs différents. La première partie avait pour but d'étudier le front de colonisation et le développement de la laitue d'eau au fil des mois. La seconde partie visait à évaluer l'interaction entre *P. stratiotes* et les autres espèces de plantes aquatiques. Ce suivi cartographique a débuté dès le mois de mars et s'est terminé en août. Ce dernier a démarré plus tôt que le suivi physico-chimique. En effet, la première étude qui avait été réalisée en 2023 avait débuté en juin alors que l'espèce colonisait déjà une grande surface sur les différents tronçons. L'objectif de démarrer plus tôt était d'avoir un « t0 » avant que la laitue d'eau colonise de manière trop importante le contre canal.

1.4.1 Cartographie de *Pistia stratiotes* :

La cartographie a été réalisée à raison d'une fois par mois durant trois jours. Le front de colonisation et chaque colonie de *P. stratiotes* ont été cartographiés à l'aide du logiciel *Qfield* 3.2.2. Ce logiciel est une application fonctionnant comme une extension pour téléphone de Qgis, et permet de réaliser la cartographie directement sur le terrain via son smartphone. Les prospections de terrain ont été réalisées en canoë sur la partie en eau libre, puis à pied lorsque le tapis de *Pistia stratiotes* était devenu trop dense pour circuler. Afin d'être le plus précis possible, trois points différents ont été pris : l'amont et l'aval de la colonie, ainsi que sa largeur.

Une fois la cartographie réalisée, la surface colonisée par *P. stratiotes* a pu être calculée à l'aide du calculateur de champs du logiciel et la fonction « \$area ». Cela permet d'obtenir la surface colonisée au fil des mois. La table attributaire a ensuite été mise sur R afin de procéder aux analyses statistiques.

En parallèle de cette cartographie, plusieurs campagnes de prise de vue aérienne à l'aide d'un drone (DJI mini3) ont été réalisées, l'objectif était d'avoir une évolution photographique des tronçons à point fixe. Les photos ont été prises sur quatre points différents (Figure 7).

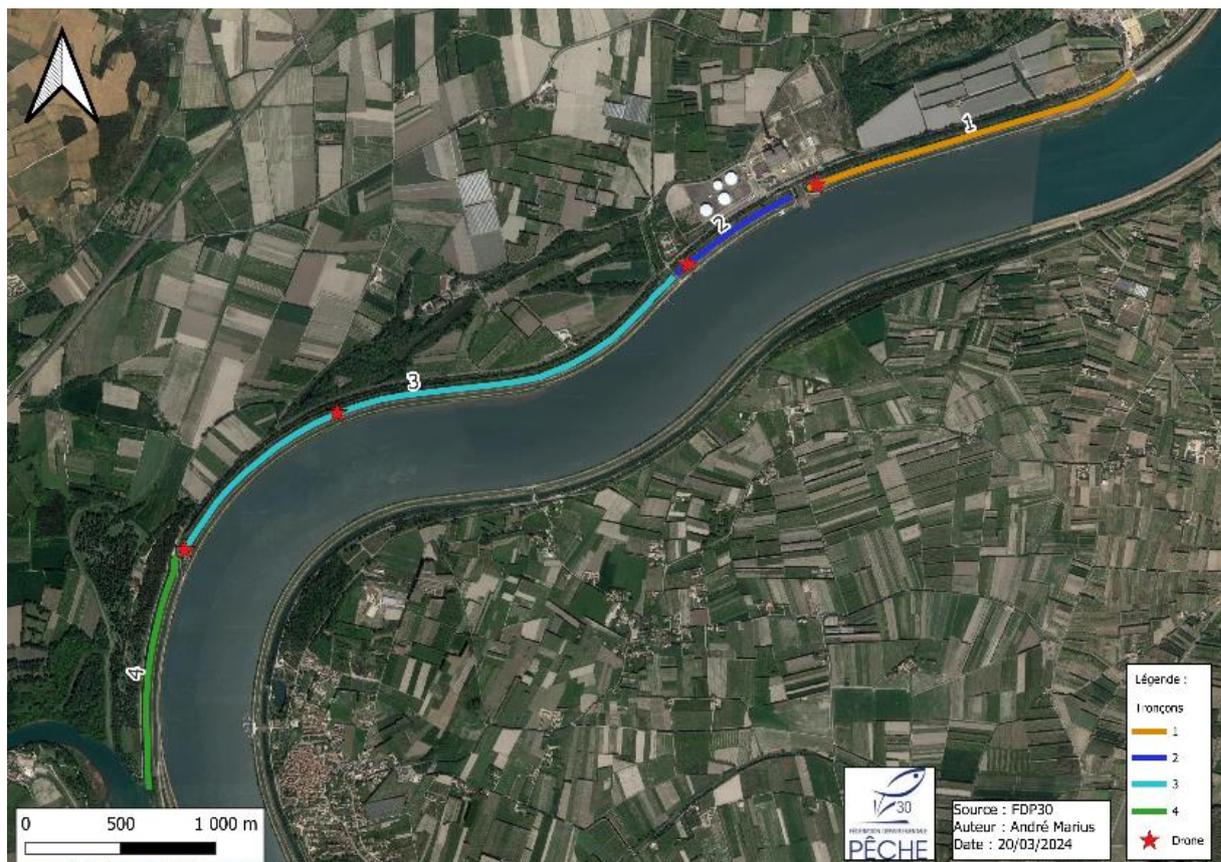


Figure 7 : Positionnement du drone

Parallèlement aux prises de vue réalisées sur les tronçons du contre-canal, d’autres clichés ont été réalisés sur le Gardon en aval de la confluence avec le contre canal au niveau du seuil de Comps. L’objectif de ces images était d’observer la fuite de la laitue d’eau vers le Gardon et de voir si elle parvenait à coloniser l’amont du seuil de Comps. En outre, d’autres plans drone ont été réalisés sur le cours d’eau du Briançon, un affluent du Gardon, à l’amont du contre canal, afin de voir si la laitue d’eau était présente. En effet, le Briançon a sensiblement les mêmes caractéristiques que le contre canal en période estivale avec un débit assez faible. On considère ici que le Briançon peut agir comme un témoin sans *P. stratiotes*.

1.4.2 Interactions entre *P. stratiotes* et les autres plantes aquatiques :

Afin de caractériser les interactions entre la laitue d’eau et les autres plantes aquatiques, des transects avec quadrat par transects ont été effectués. La réalisation de quadrat afin d’analyser l’interaction entre la laitue d’eau et les autres plantes s’inspire de l’étude de Pellela et al. (68) où les chercheurs ont analysé la diversité floristique en fonction du recouvrement en

jussie. Ici, 35 transects ont été réalisés, répartis tous les 200 m sur les différents tronçons. Cela représente dix transects pour le tronçon 1, quatre pour le tronçon 2, seize pour le tronçon 3 et six pour le tronçon 4. Chaque transect comprend quatre quadrats répartis en berge et en chenal (Figure 8). Chaque quadrat représente une surface de 4 m².

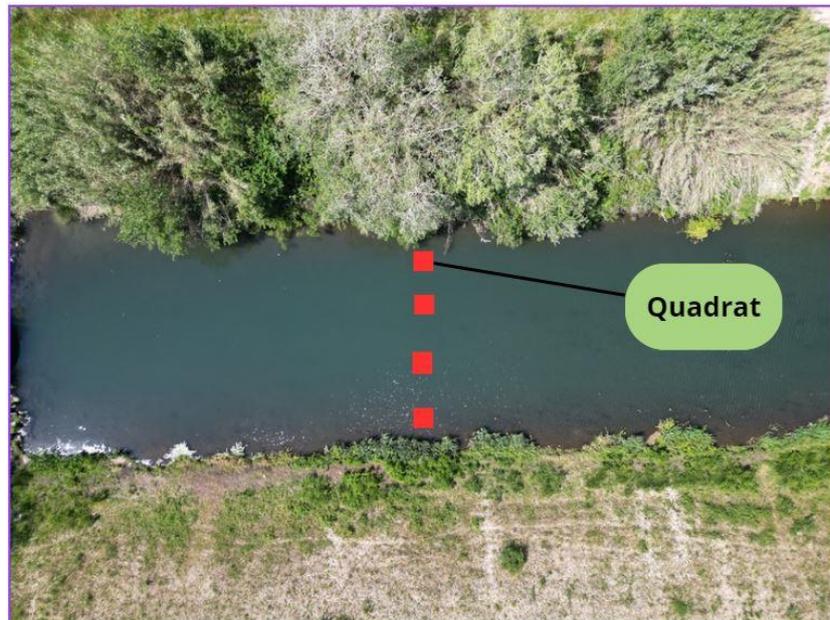


Figure 8 : Disposition des quadrats

Sur chaque quadrat est noté le recouvrement de chaque espèce de plante aquatique selon la méthode de Braun-Blanquet (69). Tous les étages ont été pris en compte. En effet, les plantes aquatiques flottantes, immergées et amphibies sont prises en compte dans les relevés. Afin d’avoir une vision plus nette du fond et d’être le plus précis, un bathyscope a été utilisé. De plus, une ancre a été utilisée afin de se stabiliser et a agi comme un grappin : les plantes remontées par cette dernière ont été prises en compte. Cette opération a été réalisée tous les mois sur les mêmes quadrats afin de voir l’évolution du recouvrement végétal au sein des différents tronçons du contre canal. Cela permet dans un premier temps d’observer le développement de *Pistia stratiotes* ainsi que de son interaction avec les autres espèces.

1.5 Vie subaquatique :

Afin de comprendre comment la laiture d’eau impacte la vie subaquatique, notamment la flore, la faune et les sédiments, des plongées scientifiques ont été planifiées avec la Fédération Française d’Études et de Sports Sous-Marins. Deux plongées ont été réalisées : le 18 avril et le 20 juillet 2024. Les deux dates avaient pour objectif d’étudier le contre canal sur deux périodes

différentes : une avant le développement excessif de la laitue d'eau et l'autre une fois que la laitue était bien installée. Ces plongées se sont déroulées sur les tronçons 2 et 3. Les plongeurs étaient équipés de caméra et ont filmé leur plongée. Lors des deux dates, les plongeurs ont réalisé le même parcours afin de pouvoir comparer les zones. Durant ces plongées, les palanquées étaient composées de deux personnes et ont descendu le contre canal de l'amont vers l'aval. Afin de parcourir toute la largeur du contre canal, les plongeurs ont réalisé des diagonales entre la rive droite et gauche.

1.6 Analyses statistiques :

Les données ont été rentrées dans Excel puis les analyses statistiques et les graphiques ont été réalisés avec le logiciel R et Rstudio version 2024.04.2+764.

1.6.1 Physico-chimie :

Pour la partie physico-chimie, des comparaisons de moyenne entre les différents mois pour tous les paramètres ont été réalisées afin de comparer les paramètres au sein de *P. stratiotes* et en dehors. Avant de réaliser les différents tests, une partie des valeurs ont été retirées. En effet, une partie des mesures a été réalisée en période de crue ; de ce fait, la hauteur d'eau du contre canal était très élevée avec certaines mesures à plus de 4 m de profondeur. Ainsi, pour les calculs, seules les valeurs jusqu'à 2,5 m ont été conservées. De plus, dans l'analyse des différences « avec et sans Pistia » seuls les tronçons 2 et 3 (tronçons présentant des tapis denses de laitue d'eau) ont été analysés, de manière séparée. Il est admis que ces deux biefs, séparés par une écluse sont différents. Les tests de Shapiro-Wilk et de Brush Pagan ont été réalisés afin de vérifier les conditions d'homoscédasticité (homogénéité des résidus) et de normalité des résidus. Enfin, un test de Kruskal-Walis a également été effectué.

1.6.2 Cartographie :

Pour la partie concernant l'interaction de la laitue et des autres plantes aquatiques, plusieurs analyses ont été réalisées. Dans un premier temps, la richesse et la diversité de Simpson ont été calculées. La richesse renseigne sur le nombre d'espèces présentes par quadrat. L'indice de Simpson est calculé à partir de la formule suivante :

$$1 - D = 1 - \sum p_i^2$$

Avec p_i l'abondance proportionnelle des espèces i . $1-D$ peut aller de 0 à 1 : 0 indique une diversité nulle et 1 indique une diversité infinie. Les deux indices ont été calculés à l'aide du package « vegan » (70). L'indice de Simpson a ici été préféré à celui de Shannon, car l'objectif

est de déterminer la dominance de la laitue d'eau ; de fait l'indice de Simpson donne plus de poids aux espèces dominantes à l'inverse de Shannon qui donne du poids aux espèces rares.

Dans le but de vérifier la différence de richesse et de diversité au fil des mois, des comparaisons de moyenne ont été réalisées. Les tests de Shapiro-Wilk et de Brush-Pagan ont été réalisés afin de tester la normalité et l'homogénéité des résidus. En dernier lieu, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été effectué. Pour cette analyse, seuls les quadrats en berge ont été pris en compte. Ici, l'objectif est d'analyser l'impact de la colonisation par *P. stratiotes* ; or, elle est absente des quadrats en chenal. Il n'apparaissait donc pas pertinent de les considérer pour identifier son influence. De plus, peu de plantes ont été observées sur cette zone de suivi.

Enfin, le recouvrement en *P. stratiotes* a été calculé à partir des indices de Braun Blanquet et la diversité a été comparée par classe de recouvrement de 0 à 100%. Un test de Kruskal-Wallis avec un test post-hoc de Wilcoxon a été réalisé afin de comparer un à un les recouvrements.

2 Résultats :

2.1 Physico-chimie :

Le graphique ci-dessous représente l'évolution des différents paramètres physico-chimiques mesurés sur le contre canal entre avril et août (Figure 9) en dehors de la laitue d'eau. On observe que la concentration en oxygène dissous et la saturation en oxygène diminue entre le début et la fin du suivi, passant d'environ 7 mg/L au mois d'avril à environ 3 mg/L au mois d'août. La première mesure montre une valeur comprise entre 5 et 6 mg/L, et la suivante des valeurs plus élevées. Inversement, la température augmente de manière importante, passant d'environ 17 °C au mois de mars à environ 21 °C au mois d'août. Ici, le même phénomène est observé avec une température plus élevée au début, puis une chute rapide de celle-ci. Néanmoins, la saturation suit la concentration en oxygène, signifiant qu'il n'y a pas de production d'oxygène par des organismes photosynthétiques. Pour ce qui est de la conductivité et du pH, les valeurs diminuent, mais de manière moins importante que les paramètres précédents. Néanmoins, pour le pH, des valeurs assez hétérogènes sont observées.

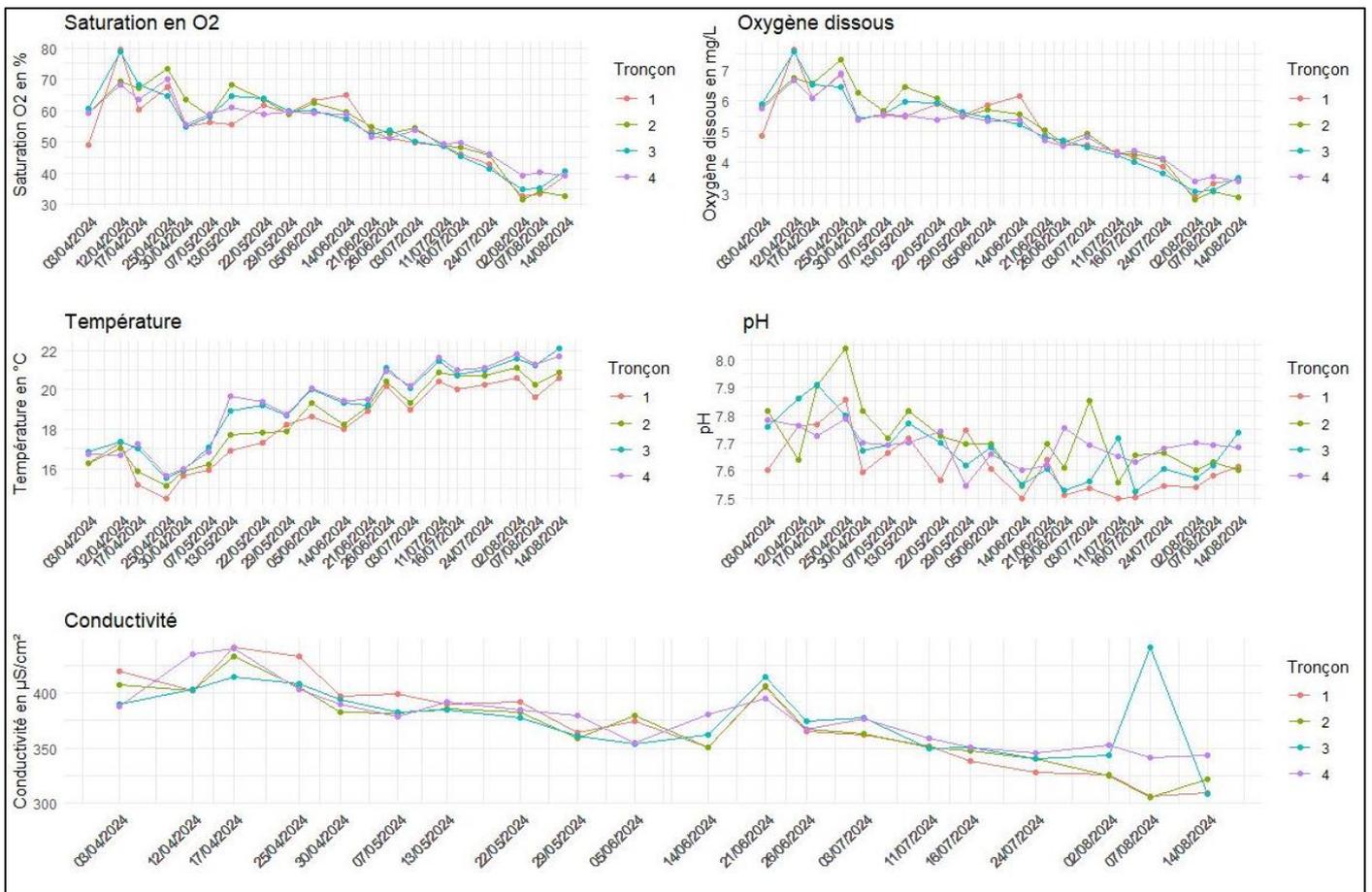


Figure 9 : Évolution des différents paramètres physico-chimique sur les différents tronçons du contre-canal

2.1.1 Tronçon 2

Ici, seule la conductivité respectait les conditions d'homoscédasticité et d'homogénéité des résidus (Shapiro-Wilk p -value $> 0,05$ et Brush-Pagan p -value $> 0,05$). Une ANOVA à un facteur a pu être réalisée. Pour les autres, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été fait.

Le test s'est révélé significatif (p -value $< 0,05$) pour la concentration en oxygène dissous, la saturation en oxygène et la température. En effet, la saturation et la concentration en oxygène dissous sont plus faibles sous le tapis dense de laitue d'eau (Figure 10). La température quant à elle est plus élevée dans *P. stratiotes* qu'en dehors. Pour ce qui est du pH et de la conductivité, ces derniers ne présentent pas de différence significative.

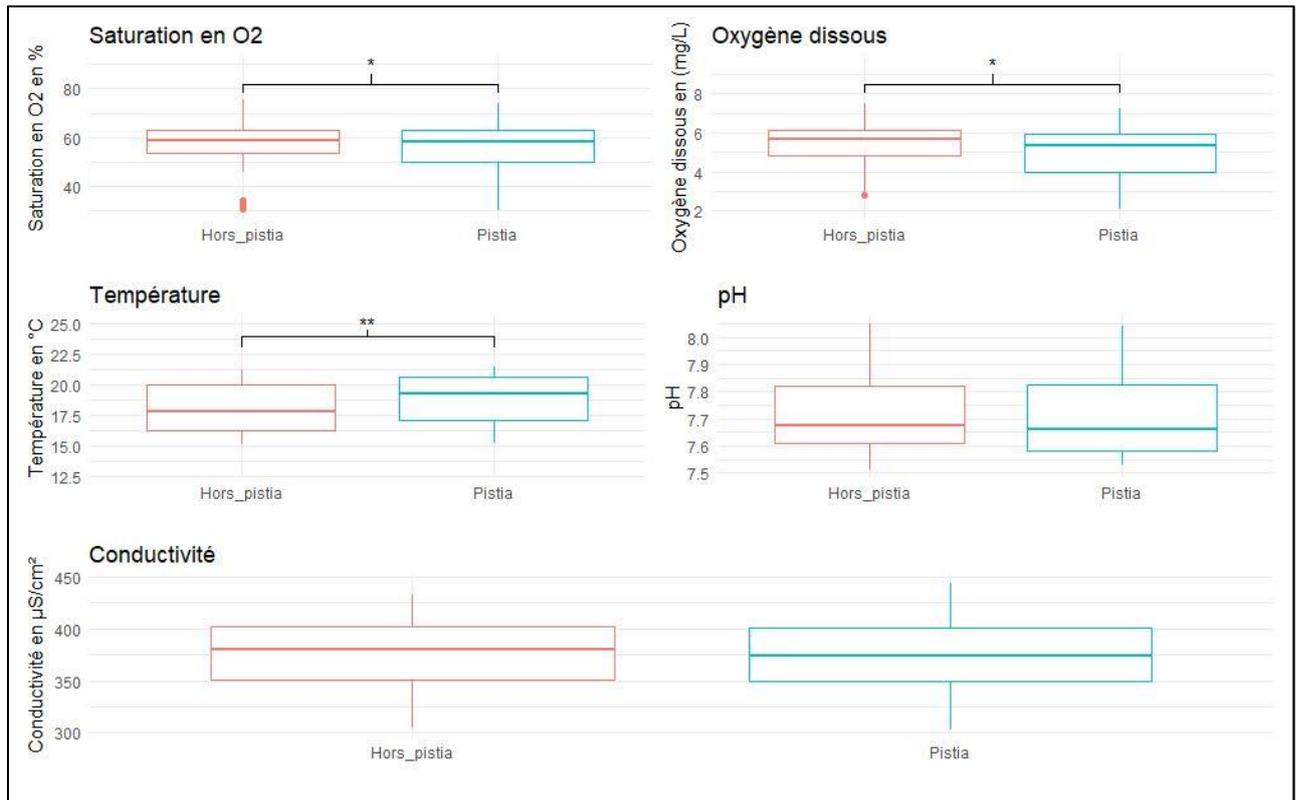


Figure 10 : Boxplot présentant les différences pour chaque paramètre entre le tapis dense de *P. stratiotes* et l'eau libre sur le tronçon 2. Significativité : 0.05 '*'; 0.01 '**'

2.1.2 Tronçon 3 :

Le graphique ci-dessous présente les mêmes résultats que pour le tronçon deux. Ici également, seule la conductivité remplit les conditions d'homoscédasticité et de normalité. Une ANOVA à un facteur a pu être réalisée. Pour le reste, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé. Dans ce cas, aucune différence significative n'a été relevée entre *P. stratiotes* et en dehors (Figure 11).

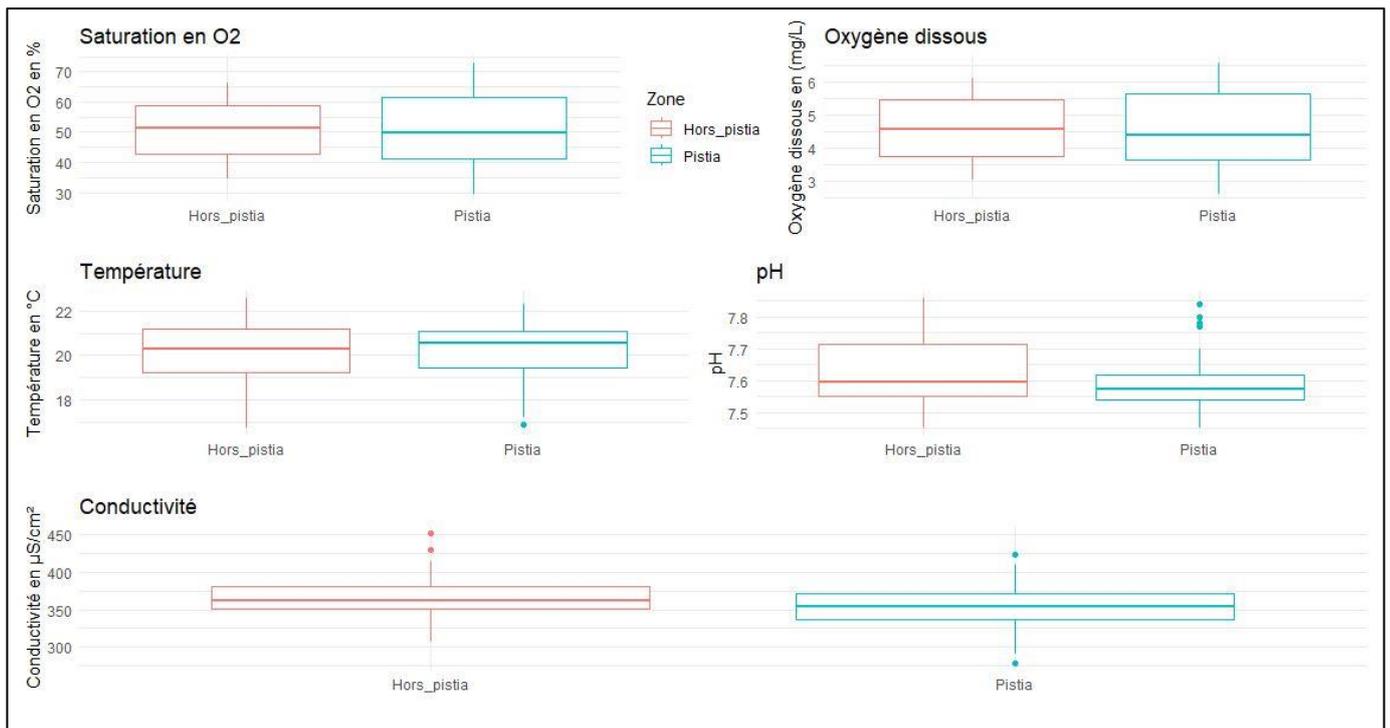


Figure 11 : Boxplot présentant les différences entre le tapis dense *P. stratiotes* et l'eau libre pour les différents paramètres étudiés sur le tronçon 3.

2.1.3 Sonde de température :

La figure 12 ci-dessous présente l'évolution des températures de l'eau et notamment durant la période hivernale. Il est visible que la température ne passe pas en dessous des 10 °C et ce, même durant les mois les plus froids de l'année. De plus, que ce soit cette année ou l'année précédente, l'eau ne dépasse pas les 22 °C et reste ainsi relativement fraîche.

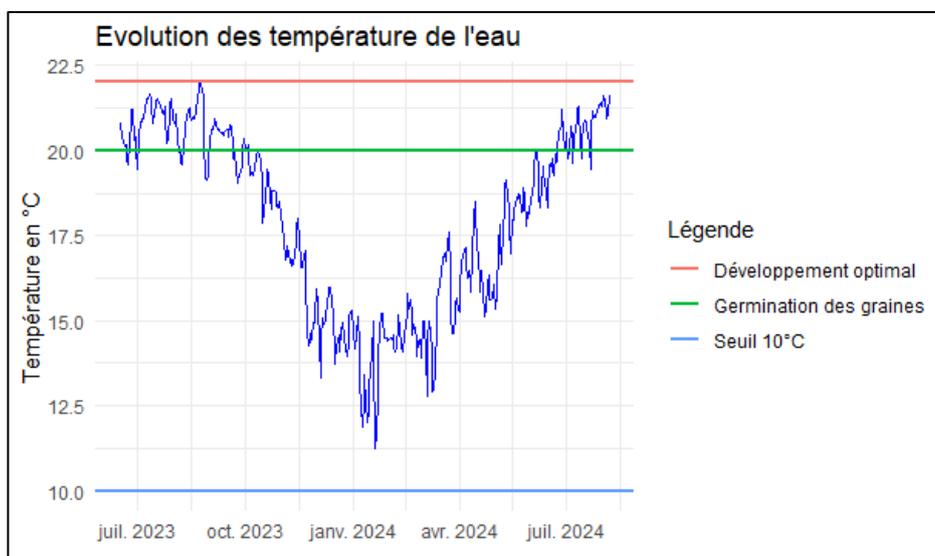


Figure 12 : Evolution des températures journalières moyenne du contre canal (tronçon 3) entre juin 2023 et août 2024

2.1.4 Sonde de pénétration de la lumière dans l'eau :

L'enregistrement de la pénétration de la lumière dans l'eau présente des résultats contrastés, pour la sonde hors laitue d'eau. En effet, la luminosité voit sa moyenne journalière augmenter rapidement puis diminuer fortement jusqu'à arriver à zéro, avant de remonter et d'avoir des moyennes journalières en dents de scie (Figure 13), ces données peuvent être dues à la dérive des plantes aquatiques en surface, qui ont pu empêcher le passage de la lumière sous l'eau. Pour ce qui est de la sonde installée dans la laitue d'eau, l'intensité lumineuse est égale à 0 durant tout le suivi. Le test de Kruskal-Wallis donne un résultat significatif ($p\text{-value} = 9.091e-13$) avec une luminosité plus élevée en dehors du tapis de *P. stratiotes*.

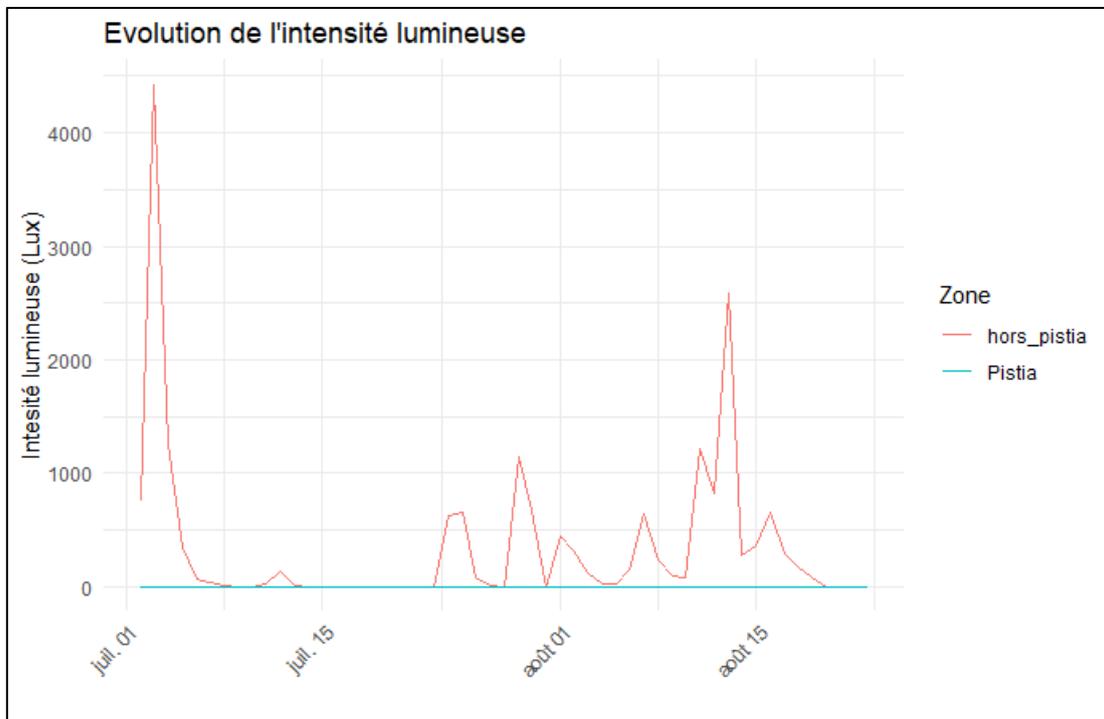


Figure 13 : Evolution de la moyenne de la luminosité journalière entre le 02/07/2024 et le 16/08/2024

2.2 Développement de la végétation aquatique :

2.2.1 Colonisation de *P. stratiotes* :

2.2.1.1 *Front de colonisation :*

Sur le tronçon 2, le front de colonisation a fluctué au fil des mois (Figure 15). En effet, au mois de mars, le tronçon était déjà bien recouvert par la laitue d'eau, avec une surface s'élevant à 1048 m². Puis, on observe une diminution au mois d'avril avec une surface recouvert par la laitue d'eau à 134 m². Ensuite, le front a augmenté de nouveau jusqu'au mois de juin (avec une surface de 261 m² en mai et 382 m² en juin). A partir du mois de juillet, la surface augmente considérablement, passant à 1675 m² le 10/07/2024 et 2755 m² le 24/07/2024. Cette tendance continue en août pour arriver à 5340m² lors du dernier relevé le 12/08/2024.

Entre le 10/07/2024 et le 12/08/2024, le front de colonisation a augmenté de 3665 m². Ce qui représente une augmentation journalière moyenne de 105 m².

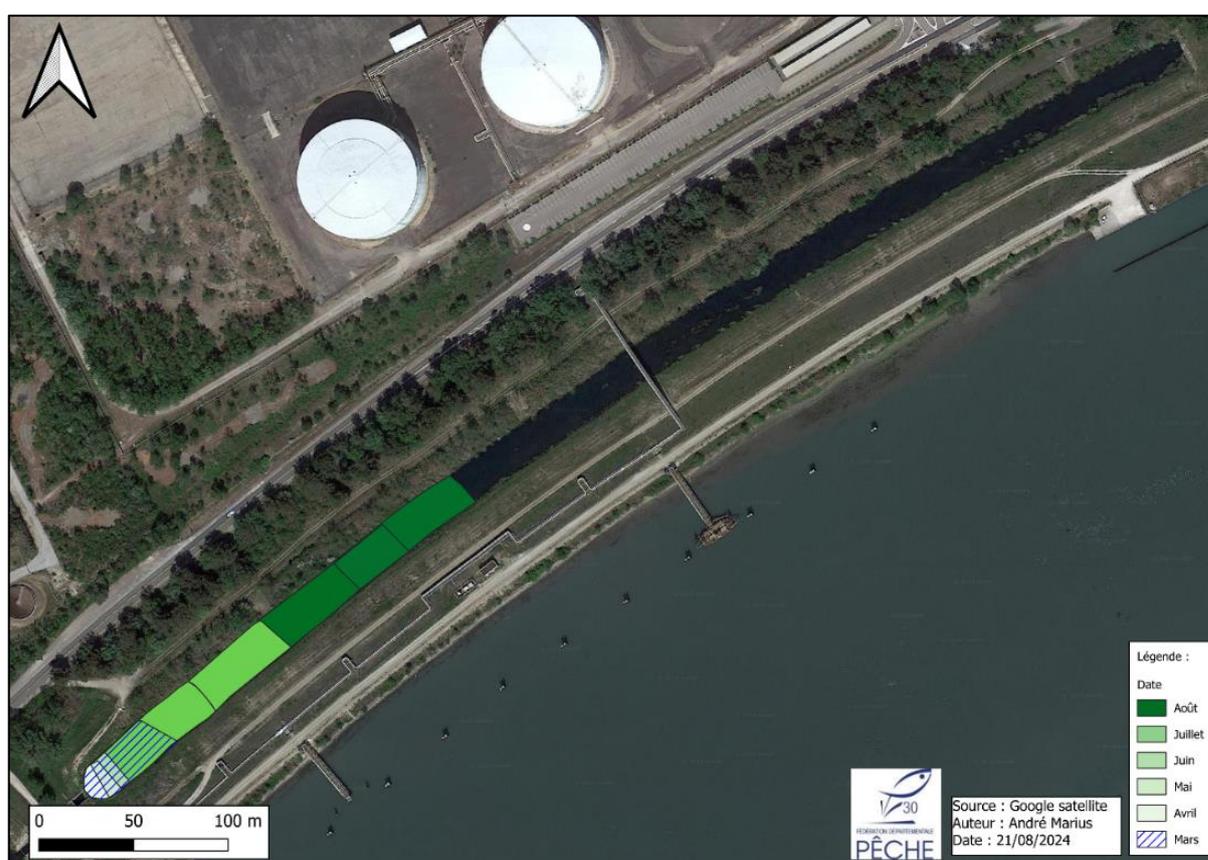


Figure 14 : Carte présentant l'avancée du front de colonisation de tapis de *P. stratiotes* sur le tronçon 2

Le front de colonisation du tronçon 3 a sensiblement la même dynamique que le tronçon 2 avec une surface au mois de mars assez importante (519 m²) qui devient nulle au mois d'avril (Figure 14). Ensuite, la laitue d'eau recolonise à une vitesse assez faible entre mai (140 m²) et juin (463 m²), puis la surface augmente de manière considérable à partir du mois de juillet avec

un recouvrement de 2 577m² le 16/07/2024. Cette tendance continue pendant le mois d'août pour atteindre 7 365 m² le 13/08/2024.



Figure 15 : Carte présentant la colonisation de *Pistia stratiotes* en amont de l'ouvrage sur le tronçon 3

Entre le 16/07/2024 et le 13/08/2024 la laitue d'eau a colonisé 4 788 m² soit une moyenne de 165 m² par jour sur la période. En comparaison entre le 10/05/2024 et le 13/06/2024, *P. stratiotes* a colonisé 323 m² soit 10 m² par jour.

Les prises de vue des drones ont permis de voir l'avancée du front de colonisation de la laitue d'eau sur le Gardon et le Briançon. Cela a permis de constater que la laitue d'eau arrive à remonter au niveau de sa confluence avec le Briançon. La plante est aussi présente au niveau du seuil de Comps sur le Gardon mais en quantité assez faible et se limite à l'aval direct de sa confluence avec le contre canal (Annexe 1).

2.2.1.2 Colonisation des différents tronçons :

En s'intéressant à la surface totale de laitue d'eau pour les différents tronçons, la dynamique reste la même que pour le front de colonisation (Figure 16). En effet, dès le mois de mars, la laitue d'eau est présente sur chaque tronçon avec une surface faible. Ensuite, l'espèce disparaît presque entièrement avec un recouvrement très faible au mois d'avril, mai et juin. Puis, à partir du mois de juillet la colonisation augmente de manière très importante, avec une surface colonisée variable entre les tronçons allant de 1 700 m² pour le tronçon 4 à 9 372 m² pour le tronçon 3. Enfin, au mois d'août, la colonisation en laitue d'eau continue de croître de manière exponentielle avec des surfaces atteignant près de 18 000 m² pour le tronçon 3. Ce tronçon étant le plus long, il est logique d'avoir la plus grande surface de plante. Si la surface est rapportée à la longueur totale du tronçon, c'est le tronçon 2 qui a la plus grande surface de laitue d'eau avec 13 m²/m. Les autres tronçons sont assez proches avec 6 m²/m pour le tronçon 3 et 5m²/m pour les tronçons 1 et 4.

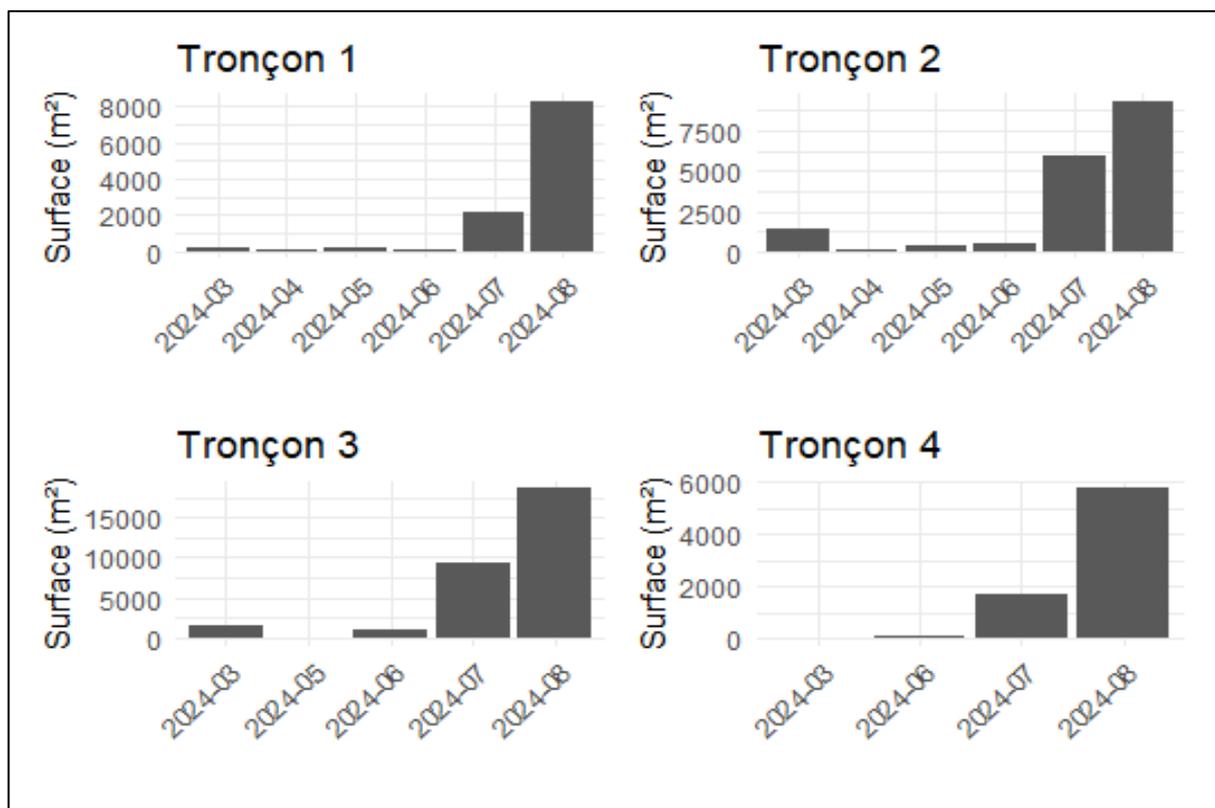


Figure 16 : Evolution de la surface colonisée en *Pista stratiotes* tout au long du suivi sur les différents tronçons

2.2.2 Interaction entre *P. stratiotes* et les autres plantes aquatiques :

Lors des différents suivis, 23 espèces de plantes ont été observées (Annexe 2). La richesse spécifique du contre canal évolue au fil des mois (Figure 17). En effet, il est visible que cette dernière a tendance à être stable jusqu'au mois de mai avec une valeur médiane d'environ 3. Ensuite, la richesse augmente légèrement au mois de juin et de juillet (4), avant de diminuer au mois d'août et de retrouver des valeurs proches des premiers mois. Néanmoins, d'un point de vue statistique, aucune significativité n'est détectée par le test de Kruskal-Walis (p-value = 0.053).

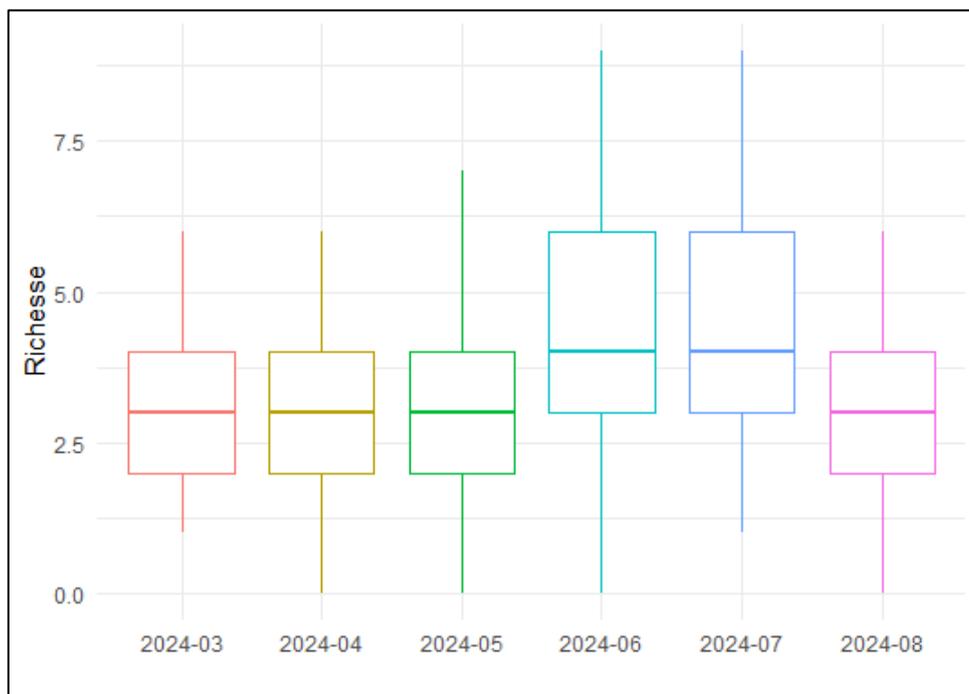


Figure 17 : Evolution de la richesse spécifique par quadrat au fil des mois

Pour ce qui est de la diversité, cette dernière reste également stable jusqu'au mois de mai avec une médiane proche de 0.6 (Figure 18). Ensuite, la valeur augmente significativement pour le mois de juin avec une médiane proche de 0,75. Au mois de juillet, la valeur reste proche de juin, pour chuter au mois d'août avec une médiane proche de 0.45. Ce dernier mois est significativement plus faible que tous les autres mois.

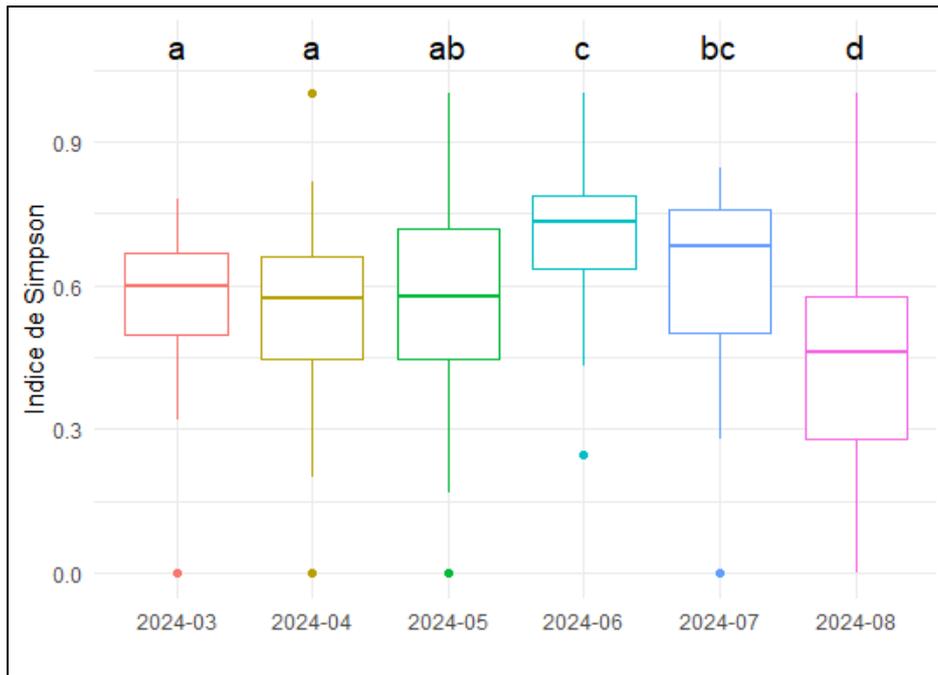


Figure 18 : Évolution de la diversité de Simpson par quadrat au fil des mois

La figure ci-après présente deux graphiques intimement liés. En effet, à gauche, le premier graphique (A) présente la proportion de quadrat où la laitue d'eau est présente en fonction des mois. Ici, il est visible que la plante a un taux de présence qui tend à la baisse entre le mois de mars (73%) et le mois de mai (54%), puis augmente légèrement jusqu'à juin (64%) et enfin, augmente de manière très importante durant les mois de juillet et d'août. La figure de droite (B) présente la même évolution (i.e. la proportion de quadrat où la laitue d'eau est présente), mais en considérant son abondance (selon Braun Blanquet) au sein du quadrat. Il est notable que pour une abondance de 0.5, sa proportion est importante avec près de 50% des quadrats au mois de mars puis cette dernière diminue de manière importante jusqu'à mai (17%). A l'inverse, pour ce qui est de l'abondance 5, elle est très faible au mois de mars (1%) et augmente fortement entre juillet et août passant de 11% à 49%. Pour les autres abondances, elles suivent sensiblement la même tendance tout au long du suivi en augmentant légèrement jusqu'à juillet avant de diminuer au mois d'août. Néanmoins, pour l'abondance 0, la proportion augmente au début du suivi et chute à partir du mois de mai, jusqu'en juillet où elle se stabilise (Figure 19).

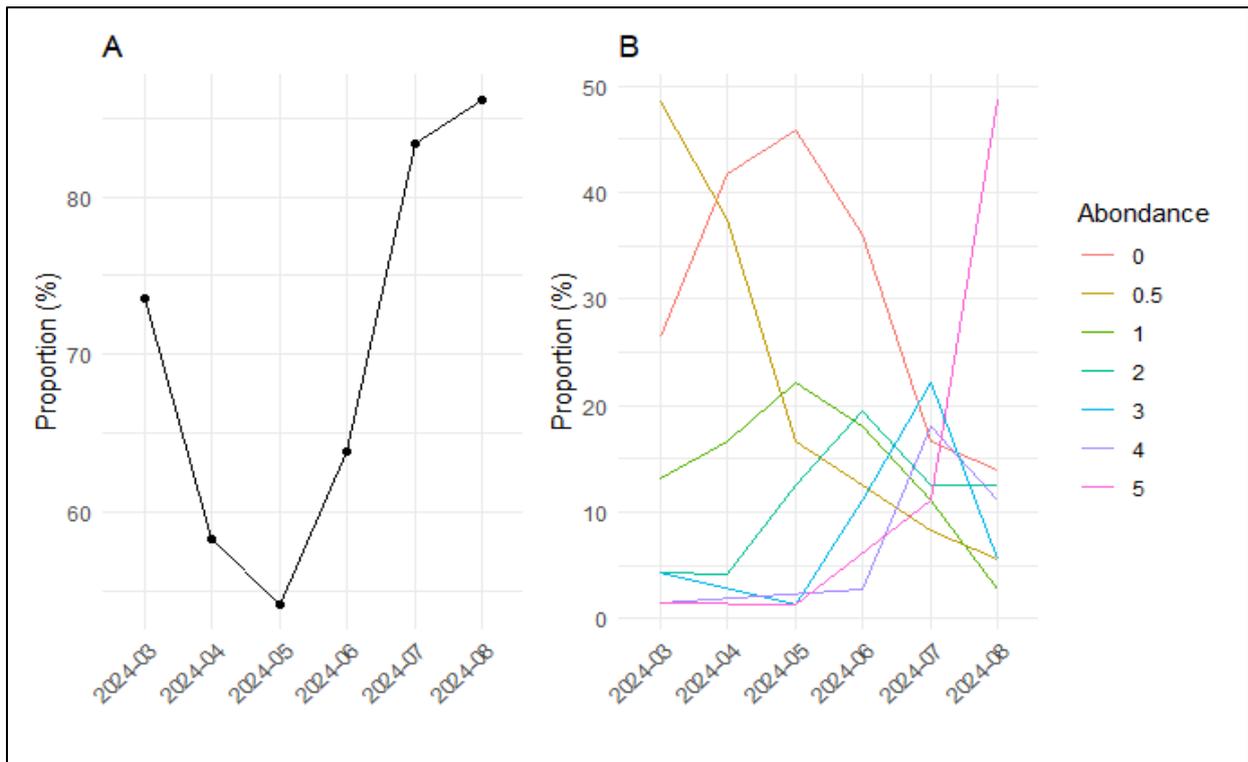


Figure 19 : A : Evolution de la présence de *P. stratiotes* au sein des quadrats au fil des mois, et B : la proportion de chaque classe d'abondance en *P. Stratiotes* par quadrat au fil des mois

La Figure 20 montre que la diversité est significativement différente entre un recouvrement intermédiaire en *P. stratiotes* (entre 5 et 50%) et un recouvrement à 0.5% et, qu'à l'inverse, aucune différence n'est notable lorsque la plante est absente 0% ou qu'elle recouvre 75% du quadrat. Cependant, quand on a 100% de recouvrement, on observe que la diversité est significativement différente de tout le reste.

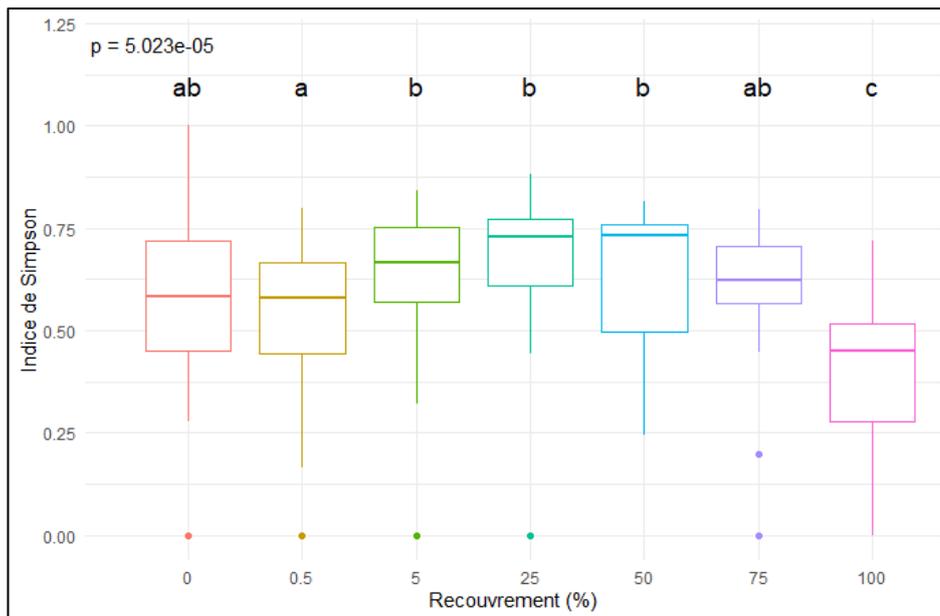


Figure 20 : Boxplot présentant la diversité de Simpson en fonction du recouvrement en laitue d'eau. La p-value présente le résultat du test de Kruskal-Wallis. Les lettres présentent la différence entre chaque classe de recouvrement.

L'analyse de la beta diversité et l'AFC ne montrent pas de différences entre les différentes dates de relevés. En effet, les différents quadrats se chevauchent et ne sont pas clairement séparés sur les différentes analyses (Annexe 3)

2.3 Vie subaquatique :

2.3.1 Faune aquatique :

Pour ce qui est de la faune aquatique, les deux plongées montrent des différences. En effet, lors de la première plongée au mois d'avril, peu d'organismes ont été observés (Figure 21) sous *P. stratiotes* et en dehors : une écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*), des gardons (*Rutilus rutilus*), des goujons (*Gobio gobio*) et une tortue de Floride (*Trachemys scripta*).

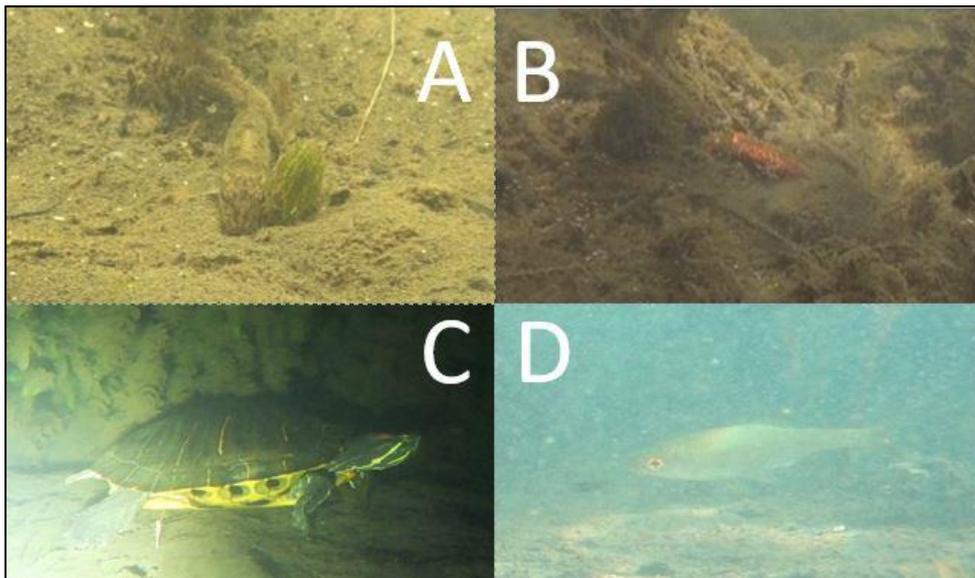


Figure 21 : Faune aquatique rencontrée lors de la première plongée le 18/04/2024. A : Goujon, B : Ecrevisse de Louisiane, C : Tortue de Floride, D : Gardon

Lors de la deuxième plongée au mois de juillet, de nombreuses espèces ont pu être observées et ce, à la fois sous les colonies de *P. stratiotes* et sous les autres plantes. En effet, les plongeurs ont vu de nombreux goujons et gardons adultes, un banc d'ablettes (*Alburnus alburnus*) de taille variable, une carpe commune (*Cyprinus carpio*) et plusieurs anguilles d'Europe (*Anguilla anguilla*). D'après les différentes images, de nombreux bancs d'alevins et d'ablettes ont été observés sous les petites colonies de laitue d'eau (Figure 22). Néanmoins, à l'intérieur du tapis dense de *P. stratiotes*, aucun individu n'a été observé.



Figure 22 : Banc de juvéniles de gardons et d'ablette sous une colonie de *P. stratiotes* lors de la plongée du 20/07/2024

2.3.2 Flore aquatique :

Lors des plongées, il a été remarqué que les plantes aquatiques immergées (notamment *Ceratophyllum demersum*, *Egeria densa* et *Ludwigia grandiflora*) étaient recouvertes de matière organique avec un colmatage important. Ce colmatage est retrouvé en suspension et en dépôt sur le fond. Ce phénomène est accentué sous les colonies de laitue d'eau : les plantes sont entièrement recouvertes (Figure 22). De plus, la quantité de plantes aquatiques sous les tapis de pistia paraît plus faible que lorsque *P. stratiotes* est absente.

2.3.3 Granulométrie :

Lors des deux plongées, les plongeurs ont remarqué que le fond était composé principalement de vase, notamment au centre du contre canal (Figure 23). En effet, ces derniers ont relevé plus d'un mètre de vase au fond et ce, sur toute la longueur du tronçon. Les bordures sont quant à elle légèrement moins touchées avec une granulométrie composée de différentes tailles de pierres grossières reposant sur du sable fin. Toutefois, on observe une différence sous les colonies de *P. stratiotes*.



Figure 23 : Observation du fond du contre canal composé de vase

3 Discussion :

3.1 Influence de *P. stratiotes* sur les paramètres physico-chimiques :

Les premiers résultats qui concernent les paramètres physico-chimiques en dehors de *P. stratiotes* permettent de faire un état des lieux pour les différents tronçons. En effet, pour les différents paramètres, les résultats sont proches de ceux attendus en règle générale. En effet, la température est inversement corrélée avec la concentration en oxygène dissous (71) cela implique une diminution de cette dernière durant l'été. Ce résultat permet de montrer que les différences ne sont pas liées à des variations environnementales, mais bien à la présence de la laitue d'eau.

Les températures relevées sur le contre canal ne dépassent pas les 22 °C ; ce qui est en dehors des optimums de température de la laitue d'eau d'après la littérature (22-30 °C),(51,63). De plus, la température de germination (20 °C) n'est dépassée de manière pérenne qu'à partir du 26/06/2024. Néanmoins, la viabilité des graines sur le contre canal n'est pas avérée.

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) définit des classes d'état selon les paramètres physico-chimiques étudiés (Annexe 4) (72). Les conditions d'oxygène dissous sont considérées comme médiocres à partir du mois de juillet pour tous les tronçons avec une concentration passant en-dessous des 4 mg/L, puis mauvaises (<3 mg/L) à partir du 02/08/2024 pour le tronçon 4. Néanmoins, le seuil d'anoxie de 2 mg/L n'est pas dépassé. La température est considérée comme très bonne tout au long du suivi, il est supposé que cela provient de l'eau qui percole du Rhône et qui arrive plus fraîche sur toute la longueur. Le pH se situe dans la gamme « très bon » (6,2-8,5). La tendance est la même sous le tapis de laitue d'eau pour les mêmes paramètres.

L'espèce repère sur les cours d'eau de 2^e catégorie piscicole (dominance cyprinicole) est le brochet (*Esox lucius*). Pour ce qui est de la concentration en oxygène dissous, le brochet est assez tolérant, mais recherche des zones avec davantage d'oxygène lorsque les valeurs passent en dessous de 4 mg/L. Le seuil de mortalité varie entre 0,5 et 2,0 mg/L, (73,74). Néanmoins, les mesures réalisées sur le contre canal ne descendent jamais en-dessous de ce seuil. Pour ce qui est de la température, l'optimum de croissance est compris entre 19 et 23 °C, (74) ; Les valeurs du contre canal restent en-dessous de 23 °C.

Il existe cependant des différences avérées de résultats pour les tronçons 2 et 3 entre le tapis de *P. stratiotes* et en dehors. En effet, sur le tronçon 2 uniquement, la température est significativement plus élevée ; la saturation et la concentration en oxygène sont significativement plus faible (Figure 10). À l'inverse, le tronçon 3 qui présente lui aussi un tapis dense de *P. stratiotes* en amont de son ouvrage n'a aucun paramètre pour lequel la différence est significative (Figure 11). Une des raisons qui pourrait expliquer la différence entre ces deux tronçons serait la présence de plantes sur le tapis dense de *P. stratiotes*. En effet, les racines des plants de laitue d'eau sont recouvertes de matière organique et au sein du tapis, elles créent un substrat support aux autres plantes émergées, notamment la jussie. Cette dernière est très présente sur le tronçon 2 à proximité du point de mesure. Or, sur le tronçon 3 il n'y a pas de jussie. Dans la littérature, la concentration en O₂ dissous diminue sous les tapis de jussie (68,75). De plus, Jaklič (76) a trouvé des concentrations en oxygène dissous bien plus faibles sous les tapis composés uniquement de *P. stratiotes*. En dernier lieu, les tapis denses de plantes aquatiques flottantes peuvent limiter les échanges gazeux et ainsi augmenter la diminution de la concentration en oxygène (77).

Pour ce qui est de la température, les tapis denses de plante limitent le brassage lié au vent et peuvent créer une stratification thermique (25). De plus, des résultats trouvant une température plus élevée sous la laitue d'eau sur le lac Sava oxbow en Slovénie (76), appuient nos observations.

La sonde de température installée sur le tronçon 2 entre juillet 2023 et août 2024 permet d'avoir une idée de la thermie du contre canal pendant l'hiver. En effet, la laitue d'eau est une plante gélive c'est-à-dire que les plants ne survivent pas à des températures proches de 0 °C ou s'ils sont pris dans la glace (61). Néanmoins, les plants peuvent résister si la température de l'eau est supérieure à 10 °C (49). Pour la période suivie par la sonde, la température ne passe pas en-dessous de 11°C en moyenne (Figure 12). Cela laisse à penser que les plants sur le contre canal résistent à l'hiver, ce qui permet à l'espèce de recommencer à coloniser le contre canal dès les premières chaleurs. Cela valide l'hypothèse de Fried (2016) selon laquelle les plants résistent au gel sous les frondaisons et sont à l'origine de la colonisation dès le retour des températures favorables.

De manière générale, ce qui pourrait expliquer les différences de résultats observées sous la laitue d'eau par rapport à la littérature sont que les mesures ont été prises au niveau des ouvrages, c'est-à-dire à l'aval du tapis de laitue d'eau. Cette zone présente un rétrécissement de largeur et donc une accélération du courant. Malgré le fait qu'un recouvrement continu en Pistia

était bien présent et s'accumulait, la mesure n'est pas prise au sein même du tapis de laitue d'eau, ce qui peut biaiser le résultat. En effet, les racines de la plante participent au ralentissement de l'eau, créant un milieu quasi-lentique. L'eau qui stagnerait sous les plants, pourrait favoriser la modification des paramètres physico-chimiques.

3.2 Colonisation du contre canal par *P. stratiotes* :

Dans cette partie, deux résultats différents ont été obtenus : d'une part, l'avancement du front de colonisation et d'autre part, la surface totale colonisée par la laitue d'eau sur les différents tronçons. La surface du front de colonisation a fluctué au fil des mois, notamment en début de suivi (Figure 15, Figure 14). En effet, au mois de mars et avril, de nombreux orages ont eu lieu dans le Gard, ce qui a engendré plusieurs crues sur le Gardon et sur le Rhône. Le contre canal étant directement lié à ces deux cours d'eau, son niveau et son débit ont nettement augmenté. Cela a entraîné une forte dévalaison de la plante (78) en aval pour les colonies présentes au niveau des ouvrages et un échouage important sur les rives du contre canal pour les colonies présente le long des berges. De plus, sur le tronçon 3, la CNR a réalisé un enlèvement du tapis le 18 avril, ce qui a participé à limiter le développement précoce avec une surface plus faible sur ce tronçon au mois de mai. Malgré cela, l'espèce a commencé à coloniser de manière substantielle entre le 15 juin et le 15 juillet comme pour le tronçon 2 ou aucune gestion n'a été réalisée. À ce moment-là, l'eau a augmenté d'environ 2 °C passant de 19 à 21°C (relevé ponctuel en journée), créant ainsi des conditions plus favorables au développement de l'espèce (46,63). Enfin, le mois de juin a été très pluvieux avec 5 jours de pluie entre le 08/06/2024 et le 22/06/2024 ; ce qui a limité le développement de la plante du fait d'un moindre ensoleillement.

Les résultats obtenus, cette année en ce qui concerne le front de colonisation sont différents de ceux obtenus l'année dernière. En effet, le front de colonisation était déjà très avancé dès la première mesure le 16 juin et mesurait 120 m de long en 2023 contre 20m en 2024. Cet écart se ressent pour le reste du suivi, avec un front de colonisation qui mesurait 211 m le 07/08/2024 contre 420 m à la même date l'année précédente. En 2023, les conditions climatiques au printemps ont été différentes notamment en ce qui concerne la pluviométrie et la température. En effet, le printemps 2023 a été moins pluvieux avec en moyenne 15 mm, 21 mm et 112mm pour mars, avril et mai contre 250, 24 et 60 mm pour cette année 2024. Pour les températures de l'air, elles sont similaires pour les mois de mars et avril, mais sont plus élevées en mai pour 2023 avec 25,1 °C contre 22,8 °C pour 2024.

Au fur et à mesure des relevés, il a été observé des différences notables dans la répartition des colonies. En effet, les plantes ont formé dans un premier temps des colonies éparses, puis au fur et à mesure ont plutôt colonisé toutes les bordures (Annexe 5). Cela laisse à penser que les colonies formées à la base se sont détachées à cause du courant présent au centre du chenal et ont favorisé la colonisation des bordures en aval.

Sur le contre canal, la richesse en plante n'évolue pas de manière significative au fil des mois ; toutefois, cette dernière a tendance à augmenter au mois de juin et juillet, mois qui sont les plus favorables au développement des plantes de manière générale. Pour ce qui est de la diversité, cette dernière augmente avec la richesse sur les mois de juin et de juillet, avec une valeur de 0,7 ce qui signifie que la population est plutôt équilibrée. En revanche, en août, cette dernière est significativement plus faible que tous les autres mois. En effet, le mois d'août est le moment où *P. stratiotes* est la plus présente sur les quadrats avec plus de 80% de présence, dont 50% des quadrats avec des recouvrements compris entre 75 et 100% (Figure 19). Cela permet de confirmer qu'en août, la laitiue d'eau impact la diversité avec une forte présence comme cela a pu être constaté grâce à la cartographie. De plus, en regardant la diversité de Simpson par rapport au recouvrement, il est notable que la diversité diminue de manière significative lorsque ce dernier est au maximum (Figure 19). Néanmoins, lorsque la plante a un recouvrement inférieur à 75% il n'est pas observé de changement significatif de diversité. Il est difficile d'affirmer que la laitiue d'eau a un vrai impact sur les communautés. En effet, cette espèce est libre et flottante, et les colonies se déplacent de manière aléatoire et peuvent de nouveau bouger selon les conditions climatiques. Il est possible que la plante ait une incidence sur les communautés sur le court terme de manière locale et sur le long terme de manière globale selon la manière dont évolue la population (76). La gestion de la CNR participe à limiter ce phénomène. Les analyses de la beta diversité (dissimilarité Bray-Curtis) et de l'AFC n'ont pas permis de mettre en évidence des modifications au sein de la communauté au fil des mois (Annexe 3) : cela confirme que malgré une augmentation du recouvrement, les mêmes espèces sont retrouvées sur les quadrats au fil des mois.

3.3 Plongées :

Les différentes plongées montrent que le contre canal présente de nombreuses espèces de poissons dont certaines avec des enjeux forts (anguille Européenne). Les espèces se retrouvent aussi bien sous les colonies de *P. stratiotes* qu'en dehors. De plus, de nombreux alevins ont été observés sous les colonies présentes en berge, ainsi qu'à l'interface entre le tapis

et l'eau libre. Lorsque la plante ne prend pas tous l'espace, elle remplit son rôle de nurserie (21) et permet aux alevins des différentes espèces de s'abriter. Néanmoins, l'absence de poissons sous le tapis dense montre que celui-ci a des conséquences négatives sur la faune aquatique notamment à cause de la concentration en oxygène qui diminue (79). De plus, le tapis ne laisse pas passer la lumière (Figure 13) et la densité en racine limite le déplacement des espèces en son sein. Toutefois, il est difficile d'affirmer que le tapis induit l'absence de poisson étant donné que les plongeurs ont eu une visibilité très restreinte, dû aux matières en suspension accrochées aux racines et à l'absence de la pénétration de lumière sous pistia. Par ailleurs, sur les différents tronçons présentant des tapis denses, les poissons peuvent librement se déplacer vers les zones sans pistia. En effet, le tronçon 3 mesure 3 km et *P. stratiotes* n'en recouvre qu'une partie. Pour le tronçon 2, ce dernier est relié au tronçon 1 par l'intermédiaire d'un tunnel. Les plongées ont d'ailleurs montré qu'une plus grande quantité de poissons était présente dans le tunnel et sur le tronçon 1.

Le fond des deux tronçons présente une couche de vase importante (1 m) sur la partie centrale du contre canal. Sur les bordures, cette épaisseur varie avec des zones sans vase, mais avec tout de même une fine couche de dépôt sur le substrat présent (sable, pierres grossières). Lors des plongées, il a été difficile de savoir s'il y avait une réelle différence en termes d'épaisseur de vase et de substrat présent. Néanmoins, sur les parcours réalisés, *P. stratiotes* était présente de manière importante l'année dernière, notamment sur le tronçon 2 dont la surface a été presque entièrement recouverte à la fin du mois d'août. Le ralentissement induit par la présence de la plante permet une sédimentation plus importante (13–15,67), ce qui expliquerait l'importante épaisseur de vase. De plus, les plantes aquatiques présentes sous le tapis sont recouvertes de dépôt, ce qui peut limiter leur développement et mener à leur dégradation. *P. stratiotes* favoriserait donc l'eutrophisation et l'envasement du milieu, ce qui peut tout à fait entraîner la dégradation des sites de nidification des poissons (80).

3.4 Gestion CNR :

Depuis 2012, la CNR a mis en place une gestion visant à enlever la laitue d'eau généralement à la fin de l'été. Cette période correspond à la fin du développement optimal de l'espèce. Cela permet d'éviter que la surface du contre-canal soit entièrement colonisée par la laitue d'eau tout au long de l'année, à la vue du possible maintien de l'espèce à cause des températures de l'eau en hiver. La gestion précoce pratiquée comme cette année en avril peut retarder l'apparition d'un tapis dense, notamment dans une année comme 2023 où aucun

évènement hydrologique n'a pu ralentir le développement de l'espèce. Cette année, les pluies importantes ont contribué à faire naturellement dévaler les plantes.

3.5 Communication sur *Pistia stratiotes* :

Afin de sensibiliser les différents usagers des milieux aquatiques, une plaquette d'information a été réalisée par la fédération de pêche. Celle-ci a pris contact avec les sports d'activités d'eaux vives autour du contre canal, afin de les sensibiliser sur cette plante.

Impacts

Sur les activités humaines
Les ouvrages (écluses, canaux et déversoirs) peuvent être grandement impactés par *P. stratiotes*, notamment à cause de la diminution de la vitesse d'écoulement de l'eau.

Sur le fonctionnement naturel du milieu
Les tapis denses de végétation peuvent limiter le brassage de l'eau et ainsi créer une stratification thermique induisant une réduction de l'oxygène dissous. De la mortalité peut aussi être observée chez les macro-invertébrés et les poissons.

Une étude en cours
Afin de mieux comprendre l'impact de cette espèce sur la faune et la flore du contre canal, la Fédération de pêche du Gard, avec le soutien financier de la CNR, mène depuis deux ans une étude qui comprend plusieurs volets :

- Analyses physico-chimiques
- Cartographie de la colonisation de la Pistia
- Définition des interactions avec les autres espèces végétales
- Impact sur la vie subaquatique notamment les poissons

Recommandations

La Laitue d'eau est une espèce qui **colonise facilement de nouveaux milieux**. Avec une simple bouture, elle peut former de nouvelles colonies et ainsi envahir de nouvelles portions de cours d'eau.
Des gestes simples peuvent limiter la propagation des espèces exotiques envahissantes :

- ✋ **Nettoyer tout le matériel après chaque sortie**
- ☀️ **Faire sécher le matériel au soleil**
- 🌿 **Éviter les zones envahies par les espèces exotiques envahissantes**

Aidez-nous à identifier les nouveaux foyers de colonisation et limiter la propagation de la Laitue d'eau !

Contact
Fédération de pêche du Gard
04 66 02 91 62
accueilfepegardpeche@gmail.com

Fédération Départementale de PÊCHE

La Laitue d'eau
Pistia stratiotes

CNR

Description de l'espèce



La Laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) est une plante aquatique libre flottante. Elle forme une rosette de feuilles obovales à poils courts vert clair, pouvant atteindre jusqu'à 40 cm.

Cette plante forme de petites colonies où les individus filles sont autour de la plante mère, rattachées par des stolons. Les plants flottants ont de grandes racines en plumeau pouvant atteindre jusqu'à 1 m.

La laitue d'eau est une plante gélive: en hiver les individus meurent à cause des températures négatives.



Origine

La laitue d'eau est une espèce originaire d'Amérique du Sud qui a colonisé de nombreuses régions tropicales et subtropicales. Elle est utilisée comme plante d'ornementation pour les bassins et les aquariums. La colonisation de nouveaux milieux par cette espèce se fait notamment à cause de déversements en milieu naturel par des particuliers. **Depuis 2022, la Laitue d'eau est inscrite sur la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes de l'Union européenne.**



Milieu colonisé et introduction

L'espèce est présente dans 15 pays de l'Union Européenne avec une première observation aux Pays-Bas en 1973.

Dans le Gard, elle est présente sur le contre-canal, en rive droite du Rhône sur les communes de Comps et d'Aramon. Au départ, l'espèce est présente de manière régulière l'été, mais disparaît en hiver. En 2016, suite à un hiver particulièrement doux, la mortalité a été très faible et l'espèce colonise presque 17 km du contre canal avec des tronçons recouverts à 100%. Depuis, ce phénomène est récurrent.



Les premières observations de Pistia sur le contre canal datent de 2005.

Méthode de dispersion

La dispersion de la Laitue d'eau se fait via le détachement des stolons filles. Une fois détachés, ces derniers viennent dériver à la surface et forment de nouvelles colonies.

Figure 24 Plaquette d'information sur la laitue d'eau

De plus, une newsletter à ce sujet à été créée pour sensibiliser les pêcheurs :

<https://www.pechegard.com/une-etude-appfondie-sur-la-laitue-deau/>

Ainsi qu'au travers de postes sur le compte Instagram et Facebook de la fédération de pêche du Gard.

Conclusion :

Nous avons pu constater que la laitue d'eau peut impacter le contre canal, au travers de trois volets différents : la physico-chimie de l'eau, la croissance de la plante (volet cartographie) et l'interaction entre les plantes et la vie subaquatique.

La laitue d'eau participe à modifier la physico-chimie du contre canal, notamment la saturation et la concentration en oxygène ainsi que la température. En effet, lorsque la laitue d'eau forme un tapis dense, elle diminue l'oxygène dissous dans l'eau et augmente la température de l'eau. De plus, les fortes températures estivales, liées à la situation géographique du Gard, participent à accentuer ce phénomène que ce soit sous le tapis ou en dehors. Néanmoins, les différents paramètres restent dans la gamme de l'espèce cible de la zone : le brochet. Par ailleurs, le contre canal conserve une eau qui ne descend pas en dessous de 11 °C l'hiver, ce qui implique que la laitue d'eau résiste au gel et peut ainsi être présente toute l'année.

La laitue d'eau est une plante qui a une capacité de colonisation importante. Cela s'est vérifié avec l'augmentation rapide de la surface colonisée dès que les températures extérieures et la température de l'eau augmentent. Le contre-canal présente de nombreuses espèces de plantes aquatiques, dont certaines sont considérées comme exotiques envahissantes (*Ludwigia grandiflora* et *Myriophyllum aquaticum*). Néanmoins, de nombreuses espèces indigènes ont été contactées telles que *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum* ou encore *Potamogeton natans*. L'étude a montré que la laitue d'eau jouait un rôle dans la diminution de la diversité en plante aquatique, lorsque celle-ci recouvre à 100% une zone. Il n'a pas été mis en évidence de modification dans les communautés de plante au fil des mois, mais ce paramètre risque d'évoluer avec le temps si la laitue d'eau persiste sur le contre canal. La gestion mise en place en place la CNR contribue à limiter ce phénomène.

Les différentes plongées ont permis de confirmer que le contre canal abrite de nombreuses espèces de poissons dont certaines sont protégées (*Anguilla anguilla*). Les plongeurs ont observé très peu de vie sous le tapis dense de laitue d'eau (sur le tronçon 2), ce qui implique que cette dernière ne favoriserait pas la vie aquatique lorsqu'elle est trop présente. Néanmoins, de nombreux poissons, notamment des alevins, ont été observés sous les petites colonies de laitue d'eau ainsi qu'à l'interface de la frontière de pistia, qui est une zone de nurserie pour les différentes espèces de poissons. Le contre canal présente un fond très vaseux,

notamment sous les colonies de laitue d'eau. La laitue d'eau participe à diminuer le courant et favorise ainsi la sédimentation.

Afin de mieux comprendre cette espèce et l'impact de sa présence sur le contre canal, plusieurs voies pourraient être explorées. En effet, la pose de sonde fixe à pas de temps horaire en plein cœur de la laitue d'eau serait judicieuse. Durant le suivi, il a été impossible de pénétrer au sein du tapis et la prise de mesure s'est faite sur une zone qui n'a pas été optimale pour déterminer le réel impact de cette espèce. De plus, la prise de pas temps horaire permettrait d'avoir une idée sur les paramètres physico-chimiques durant la nuit. Par ailleurs, l'étude de la viabilité des graines issues des plants du contre canal serait intéressante, afin de savoir si la plante arrive à se reproduire de manière sexuée. Enfin, il serait pertinent de comprendre comment la laitue d'eau résiste à l'hiver afin de mieux appréhender sa gestion.

Le contre canal est un milieu artificiel dont la surface est colonisée par plusieurs espèces envahissantes. Néanmoins, il abrite une certaine biodiversité autochtone et joue le rôle de zone refuge et de frayère pour les poissons du Gardon. La compréhension de l'impact des plantes exotiques envahissantes est primordiale afin de continuer à protéger ce milieu.

Bibliographie :

1. Stiers I, Crohain N, Josens G, Triest L. Impact of three aquatic invasive species on native plants and macroinvertebrates in temperate ponds. *Biol Invasions*. déc 2011;13(12):2715-26.
2. Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata ZI, Knowler DJ, Lévêque C, et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol Rev*. 2006;81(2):163-82.
3. Sala OE, Stuart Chapin F, Iii, Armesto JJ, Berlow E, Bloomfield J, et al. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*. 10 mars 2000;287(5459):1770-4.
4. Carpenter SR. Microcosm experiments have limited relevance for community and ecosystem ecology. *Ecology*. 1996;77(3):677-80.
5. MacDougall AS, Turkington R. ARE INVASIVE SPECIES THE DRIVERS OR PASSENGERS OF CHANGE IN DEGRADED ECOSYSTEMS? *Ecology*. janv 2005;86(1):42-55.
6. Shea K, Chesson P. Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends Ecol Evol*. 2002;17(4):170-6.
7. Davis MA, Grime JP, Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *J Ecol*. juin 2000;88(3):528-34.
8. Carpenter SR, Lodge DM. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquat Bot*. 1986;26:341-70.
9. Simberloff D, Martin JL, Genovesi P, Maris V, Wardle DA, Aronson J, et al. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends Ecol Evol*. 2013;28(1):58-66.
10. Burks RL, Mulderij G, Gross E, Jones I, Jacobsen L, Jeppesen E, et al. Center Stage: The Crucial Role of Macrophytes in Regulating Trophic Interactions in Shallow Lake Wetlands. In: Bobbink R, Beltman B, Verhoeven JTA, Whigham DF, éditeurs. *Wetlands: Functioning, Biodiversity Conservation, and Restoration* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006 [cité 21 mars 2024]. p. 37-59. (Caldwell MM, Heldmaier G, Jackson RB, Lange OL, Mooney HA, Schulze ED, et al. *Ecological Studies*; vol. 191). Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-33189-6_3
11. Chambers PA, Lacoul P, Murphy KJ, Thomaz SM. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. In: Balian EV, Lévêque C, Segers H, Martens K, éditeurs. *Freshwater Animal Diversity Assessment* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2008 [cité 7 août 2024]. p. 9-26. (Developments in Hydrobiology; vol. 198). Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-8259-7_2
12. Scheffer M, Carpenter S, Foley JA, Folke C, Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 2001;413(6856):591-6.

13. Cotton JA, Wharton G, Bass JAB, Heppell CM, Wotton RS. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation cover on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology*. 30 juill 2006;77(3):320-34.
14. Horppila J, Nurminen L. Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland). *Water Res*. nov 2003;37(18):4468-74.
15. Wang C, Zheng S sha, Wang P fang, Hou J. Interactions between vegetation, water flow and sediment transport: A review. *J Hydrodyn*. févr 2015;27(1):24-37.
16. Bakker ES, Van Donk E, Declerck SAJ, Helmsing NR, Hidding B, Nolet BA. Effect of macrophyte community composition and nutrient enrichment on plant biomass and algal blooms. *Basic Appl Ecol*. août 2010;11(5):432-9.
17. Declerck SAJ, Bakker ES, Van Lith B, Kersbergen A, Van Donk E. Effects of nutrient additions and macrophyte composition on invertebrate community assembly and diversity in experimental ponds. *Basic Appl Ecol*. août 2011;12(5):466-75.
18. Massicotte P, Bertolo A, Brodeur P, Hudon C, Mingelbier M, Magnan P. Influence of the aquatic vegetation landscape on larval fish abundance. *J Gt Lakes Res*. sept 2015;41(3):873-80.
19. J. Rantala M, Ilmonen J, Koskimäki J, Suhonen J, Tynkkynen. K. The macrophyte, *Stratiotes aloides*, protects larvae of dragonfly *Aeshna viridis* against fish predation. *Aquat Ecol*. 2004;38(1):77-82.
20. Warfe DM, Barmuta LA. Habitat structural complexity mediates the foraging success of multiple predator species. *Oecologia*. sept 2004;141(1):171-8.
21. Jeppesen E, Søndergaard M, Søndergaard M, Christoffersen K. The structuring role of submerged macrophytes in lakes [Internet]. Vol. 131. Springer Science & Business Media; 1998 [cité 25 mars 2024]. Disponible sur: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=BIbuBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=The+Structuring+Role+of+Submerged+Macrophytes+in+Lakes&ots=gOalarQL9P&sig=L08Edy2H1owg57EHC6OZpSRoej4>
22. Grutters B, Pollux BJ, Verberk WC, Bakker ES. Native and non-native plants provide similar refuge to invertebrate prey, but less than artificial plants. *PLoS One*. 2015;10(4):e0124455.
23. Grutters B, Gross EM, Bakker ES. Insect herbivory on native and exotic aquatic plants: phosphorus and nitrogen drive insect growth and nutrient release. *Hydrobiologia*. sept 2016;778(1):209-20.
24. Mitchell DS. Aquatic vegetation and its use and control. 1974 [cité 6 août 2024]; Disponible sur: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19742306741>
25. Sculthorpe CD. The biology of aquatic vascular plants. 1967 [cité 6 août 2024]; Disponible sur: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/115509>
26. Herbold B, Moyle PB. Introduced species and vacant niches. *Am Nat*. 1986;128(5):751-60.

27. Blumenthal DM, Hufbauer RA. INCREASED PLANT SIZE IN EXOTIC POPULATIONS: A COMMON-GARDEN TEST WITH 14 INVASIVE SPECIES. *Ecology*. nov 2007;88(11):2758-65.
28. Clay K. Parasites lost. *Nature*. 2003;421(6923):585-6.
29. Bradley BA, Wilcove DS, Oppenheimer M. Climate change increases risk of plant invasion in the Eastern United States. *Biol Invasions*. 2010;12:1855-72.
30. Szabó S, Peeters ETHM, Várbíró G, Borics G, Lukács BA. Phenotypic plasticity as a clue for invasion success of the submerged aquatic plant *Elodea nuttallii*. *Elzenga JTM, éditeur. Plant Biol.* janv 2019;21(1):54-63.
31. Szabó S, Peeters ET, Borics G, Veres S, Nagy PT, Lukács BA. The ecophysiological response of two invasive submerged plants to light and nitrogen. *Front Plant Sci*. 2020;10:1747.
32. Thiébaud G. Invasion success of non-indigenous aquatic and semi-aquatic plants in their native and introduced ranges. A comparison between their invasiveness in North America and in France. *Biol Invasions*. 1 janv 2007;9(1):1-12.
33. Brundu G. Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. *Hydrobiologia*. 2015;746:61-79.
34. Getsinger K, Dibble E, Rodgers J, Spencer DF. Benefits of controlling nuisance aquatic plants and algae in the United States. Ames Iowa Counc Agric Sci Technol CAST Comment QTA-2014-1. 2014;
35. Rommens W, Maes J, Dekeza N, Inghelbrecht P, Nihwatiwa T, Holsters E, et al. The impact of water hyacinth(*Eichhornia crassipes*) in a eutrophic subtropical impoundment(Lake Chivero, Zimbabwe). I. Water quality. *Arch Für Hydrobiol*. 2003;158(3):373-88.
36. James CS, Eaton JW, Hardwick K. Competition between three submerged macrophytes, *Elodea canadensis* Michx, *Elodea nuttallii* (Planch.) St John and *Lagarosiphon major* (Ridl.) moss. *Hydrobiologia*. 1999;415:35-40.
37. Vilas MP, Marti CL, Adams MP, Oldham CE, Hipsey MR. Invasive macrophytes control the spatial and temporal patterns of temperature and dissolved oxygen in a shallow lake: a proposed feedback mechanism of macrophyte loss. *Front Plant Sci*. 2017;8:2097.
38. Holm LG, Weldon LW, Blackburn RD. Aquatic Weeds: The rampant quality of aquatic weeds has become one of the symptoms of our failure to manage our resources. *Science*. 7 nov 1969;166(3906):699-709.
39. Thouvenot L, Haury J, Thiebaut G. A success story: water primroses, aquatic plant pests. *Aquat Conserv*. 2013;23(5).
40. Halstead JM, Michaud J, Hallas-Burt S, Gibbs JP. Hedonic Analysis of Effects of a Nonnative Invader (*Myriophyllum heterophyllum*) on New Hampshire (USA) Lakefront Properties. *Environ Manage*. 1 sept 2003;32(3):391-8.

41. Clayton J, Champion P. Risk assessment method for submerged weeds in New Zealand hydroelectric lakes. In: *Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management: Proceedings of the 11th International Symposium on Aquatic Weeds*, European Weed Research Society. Springer; 2006. p. 183-8.
42. Hill MP. The impact and control of alien aquatic vegetation in South African aquatic ecosystems. *Afr J Aquat Sci.* janv 2003;28(1):19-24.
43. EPPO. *Pistia stratiotes* L. Bull OEPPEPPO Bull. 2017;47(3):537-43.
44. Brunel S, Schrader G, Brundu G, Fried G. Emerging invasive alien plants for the Mediterranean Basin. EPPO Bull. août 2010;40(2):219-38.
45. Moore GR, Hill MP. A quantitative post-release evaluation of biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* L.(Araceae) by the weevil *Neohydronomus affinis* Hustache (Coleoptera: Curculionidae) at Cape Recife Nature Reserve, Eastern Cape Province, South Africa. *Afr Entomol.* 2012;20(2):380-5.
46. Neuenschwander P, Julien MH, Center TD, Hill MP. *Pistia stratiotes* L.(Araceae). *Biol Control Trop Weeds Using Arthropods* Camb Univ Press N Y NY. 2009;332-52.
47. Adebayo AA, Briski E, Briski E, Kalaci O, Hernandez M, Ghabooli S, et al. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*) in the Great Lakes: playing with fire? *Aquat Invasions.* 2011;6(1):91.
48. Cilliers CJ. Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* (Araceae), in South Africa. *Agric Ecosyst Environ.* 1991;37(1-3):225-9.
49. Hussner A, Heidbuechel P, Heiligttag S. Vegetative overwintering and viable seed production explain the establishment of invasive *Pistia stratiotes* in the thermally abnormal Erft River (North Rhine-Westphalia, Germany). *Aquat Bot.* 2014;119:28-32.
50. Venema P. Fast spread of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) around Meppel. 2001 [cité 4 mars 2024]; Disponible sur: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20023009558>
51. Henry-Silva GG, Camargo AFM, Pezzato MM. Growth of free-floating aquatic macrophytes in different concentrations of nutrients. *Hydrobiologia.* sept 2008;610(1):153-60.
52. Dray Jr FA, Center TD. Seed production by *Pistia stratiotes* L.(water lettuce) in the United States. *Aquat Bot.* 1989;33(1-2):155-60.
53. Holm LG, Plucknett DL, Pancho JV, Herberger JP. The world's worst weeds. 1977 [cité 8 août 2024]; Disponible sur: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19770359792>
54. OFB, UICN. Liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union européenne en date du 19 juillet 2022 [Internet]. Centre de ressource des espèces exotiques envahissantes; 2022. Disponible sur: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://especies-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2024/07/220719_liste_rue_eee.pdf

55. Mennema J. Wordt de Watersla (*Pistia stratiotes* L.) een nieuwe waterpest in Nederland. *Natura*. 1977;74(5):187-90.
56. für Kärnten NV, Hartl H. Verbreitungsatlas der Farn-und Blütenpflanzen Kärntens. Naturwiss. Verein für Kärnten; 1992.
57. Šajna N, Haler M, Škornik S, Kaligarič M. Survival and expansion of *Pistia stratiotes* L. in a thermal stream in Slovenia. *Aquat Bot*. 2007;87(1):75-9.
58. Ercolini P. *Pistia stratiotes* L.(Alismatales: Araceae) in Versilia (Toscana nord-occidentale). *Biol Ambient*. 2008;22:45-9.
59. Silene. *Pistie stratiotes - Pistia stratiotes* | Silene Nature - SINP PACA [Internet]. 2016 [cité 23 juill 2024]. Disponible sur: <https://nature.silene.eu/espece/447733>
60. Fried G. La Laitue d'eau résiste à l'hiver méditerranéen [Internet]. Centre de ressources. 2016 [cité 8 mars 2024]. Disponible sur: <https://especies-exotiques-envahissantes.fr/la-laitue-deau-resiste-a-lhiver-mediterraneen/>
61. MacIsaac HJ, Eyraud AP, Beric B, Ghabooli S. Can tropical macrophytes establish in the Laurentian Great Lakes? *Hydrobiologia*. mars 2016;767(1):165-74.
62. Brusson R, Rabin N, Blottière D, Singh C. Experimentation de gestion de la Laitue d'eau dans un contre-canal du Rhône (Gard) [Internet]. CNR,UICN; 2022 p. 5. Disponible sur: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/Rex-EEE-2022_Laitue-eau.pdf
63. Pieterse AH, Delange L, Verhagen L. A STUDY ON CERTAIN ASPECTS OF SEED GERMINATION AND GROWTH OF *PISTIA STRATIOTES* L. *Acta Bot Neerlandica*. févr 1981;30(1-2):47-57.
64. Louda SM, Pemberton RW, Johnson MT, Follett PA. NONTARGET EFFECTS —THE ACHILLES' HEEL OF BIOLOGICAL CONTROL? Retrospective Analyses to Reduce Risk Associated with Biocontrol Introductions. *Annu Rev Entomol*. janv 2003;48(1):365-96.
65. Khan MA, Marwat KB, Gul B, Wahid F, Khan H, Hashim S. *Pistia stratiotes* L.(Araceae): Phytochemistry, use in medicines, phytoremediation, biogas and management options. *Pak J Bot*. 2014;46(3):851-60.
66. Mishima D, Kuniki M, Sei K, Soda S, Ike M, Fujita M. Ethanol production from candidate energy crops: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Bioresour Technol*. 2008;99(7):2495-500.
67. Dray Jr, Center TD. 5 WATERLETTUCE. *Biol CONTROL INVASIVE PLANTS East U S*. 2002;65.
68. Pelella E, Questino B, Luzi B, Mariani F, Ceschin S. Impact of the Invasive Alien Macrophyte *Ludwigia hexapetala* on Freshwater Ecosystems: Evidence from Field Data. *Biology*. 2023;12(6):794.

69. Braun-Blanquet. Plant sociology, the study of plant communities. 1932. 439 p.
70. Oksanen J, Simpson GL, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, et al. vegan: Community Ecology Package [Internet]. 2001 [cité 22 août 2024]. p. 2.6-6.1. Disponible sur: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
71. Khani S, Rajaei T. Modeling of Dissolved Oxygen Concentration and Its Hysteresis Behavior in Rivers Using Wavelet Transform-Based Hybrid Models. CLEAN – Soil Air Water. févr 2017;45(2):clen.201500395.
72. Loi sur l'eau. 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 pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance [Internet]. 2010 [cité 30 août 2024]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037347756>
73. Casselman JM. Age, growth and environmental requirements of pike. In: Craig JF, éditeur. Pike [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 1996 [cité 26 août 2024]. p. 69-101. Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-8775-4_4
74. Casselman JM. Effects of environmental factors on growth, survival, activity, and exploitation of northern pike. Am Fish Soc Spec Publ. 1978;11(11):114-28.
75. Dandelot S, Verlaque R, Dutartre A, Cazaubon A. Ecological, Dynamic and Taxonomic Problems Due to *Ludwigia* (Onagraceae) in France. Hydrobiologia. 1 nov 2005;551(1):131-6.
76. Jaklič M, Koren Š, Jogan N. Alien water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) outcompeted native macrophytes and altered the ecological conditions of a Sava oxbow lake (SE Slovenia). Acta Bot Croat. 2020;79(1):0-0.
77. Caraco NF, Cole JJ. CONTRASTING IMPACTS OF A NATIVE AND ALIEN MACROPHYTE ON DISSOLVED OXYGEN IN A LARGE RIVER. Ecol Appl. oct 2002;12(5):1496-509.
78. Dickinson MB, Miller TE. Competition among small, free-floating, aquatic plants. Am Midl Nat. 1998;140(1):55-67.
79. Brundu G, Stinca A, Angius L, Bonanomi G, Celesti-Grappo L, D'Auria G, et al. *Pistia stratiotes* L. and *Eichhornia crassipes* (M art.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy). EPPO Bull. déc 2012;42(3):568-79.
80. Rojas-Sandoval J, Acevedo-Rodríguez P, Mikulyuk A. *Pistia stratiotes* (water lettuce). CABI Compend. 30 août 2013;CABI Compendium:41496.

Table des annexes :

Annexe 1 : Vue du drone sur les différents tronçons.....	1
Annexe 2 : Liste des plantes contactées	6
Annexe 3 : AFC et dissimilarité de Bray-Curtis	7
Annexe 4 : classe d'état pour les paramètres physico-chimique des cours d'eau	8
Annexe 5 : Cartographie de la surface en P. stratiotes	9

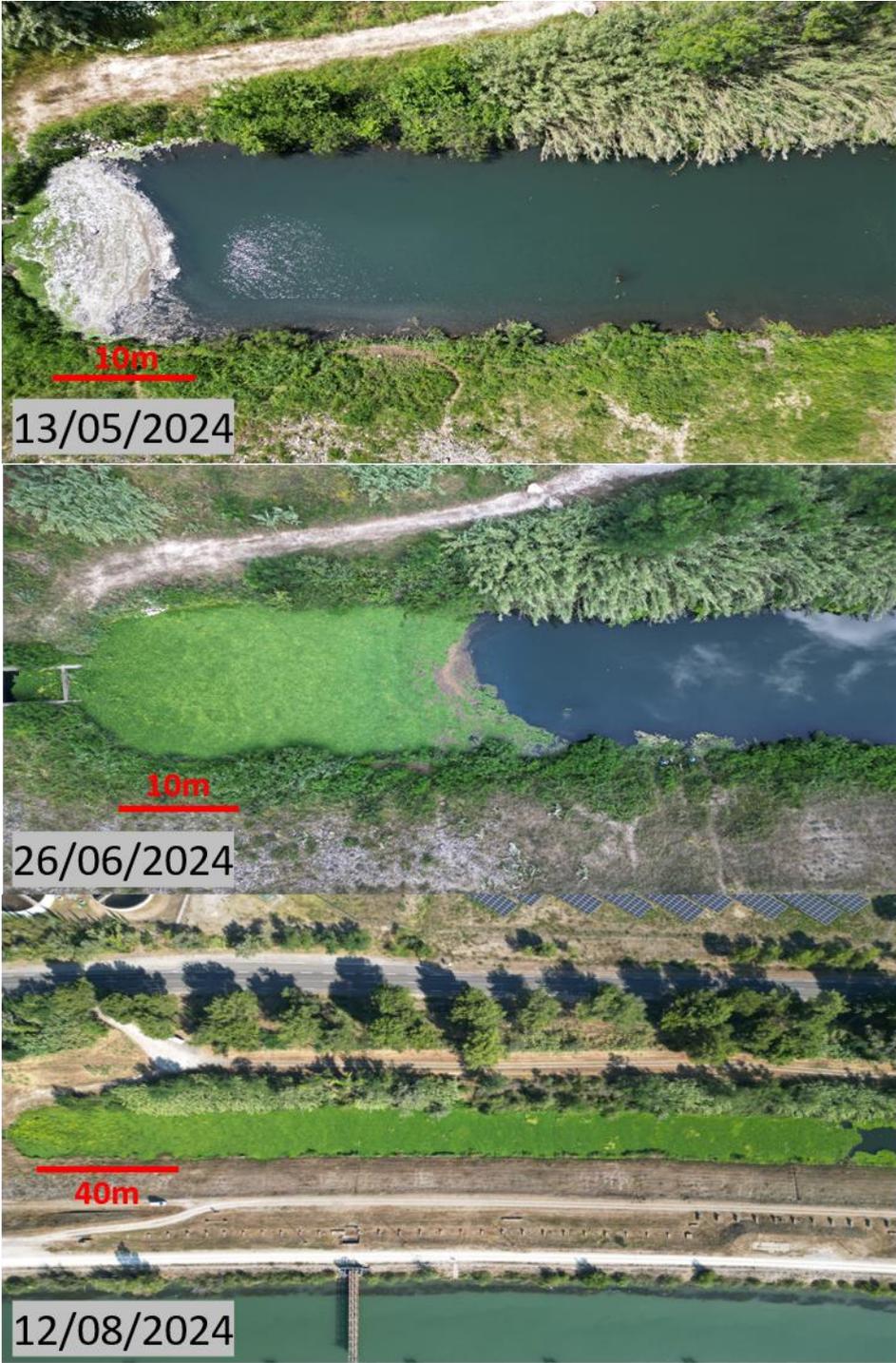
Annexes :

Annexe 1 : Vue du drone sur les différents tronçons

Tronçon 1 :



Tronçon 2 :



Tronçon 3 :



Tronçon 4, confluence avec le gardon :



Briançon



Ludwigia grandiflora

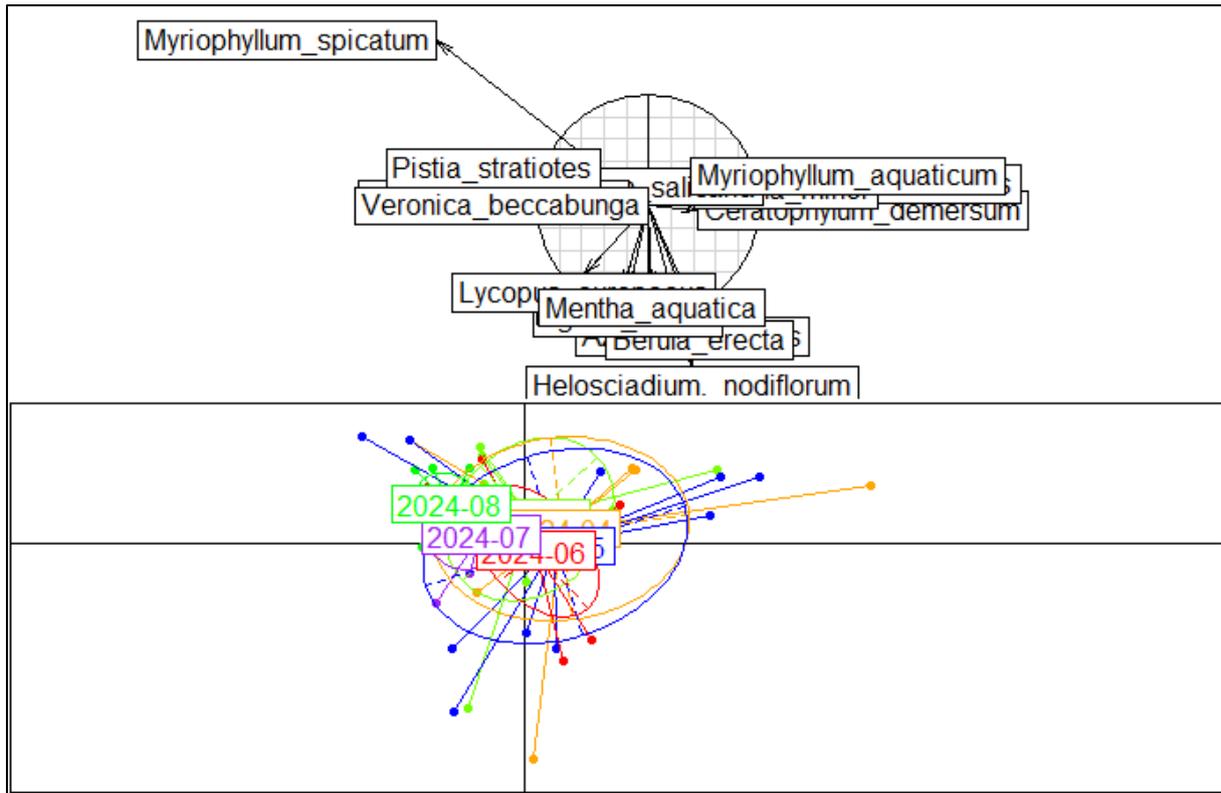


Pistia stratiotes

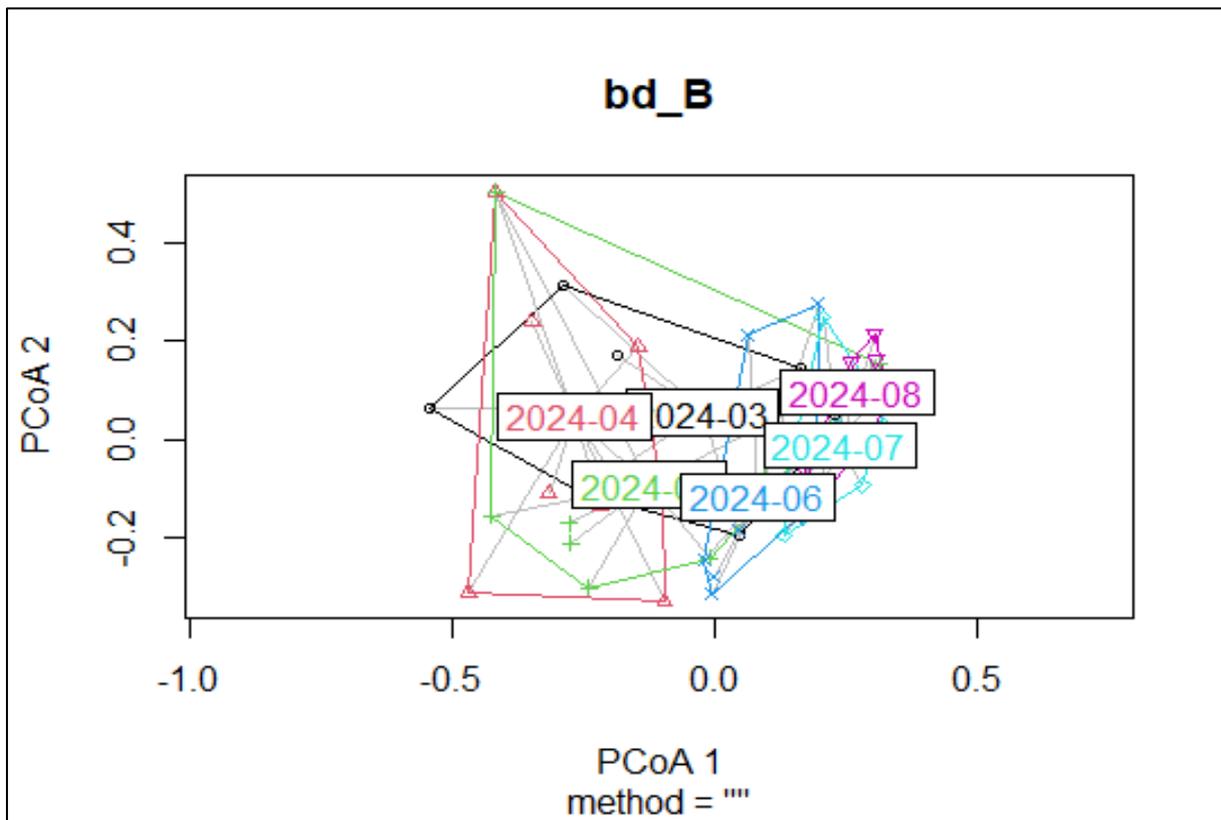
Annexe 2 : Liste des plantes contactées

Nom latin	Nom commun
Azolla filiculoides	Azolle fausse fougère
Berula erecta	Berle dressée
Carex sp	Laïche sp
Ceratophyllum demersum	Cératophylle nageant
Egeria densa	Egerie dense
Gallium palustre	Gaillet des marais
Helosciadium nodiflorum	Ache nodiflore
Iris pseudocarus	Iris des marais
Lemna minor	Lentille d'eau mineure
Ludwigia grandiflora	Jussie à grande fleur
Lycopus europaeus	Lycophe d'Europe
Lythrum salicaria	Salicaire commune
Myosotis scorpioides	Myosotis faux scorpion
Mentha aquatica	Menthe aquatique
Myriophyllum aquaticum	Myriophylle du Brésil
Myriophyllum spicatum	Myriophylle en épis
Nasturtium officinale	Cresson des fontaines
Pistia stratiotes	Laitue d'eau
Persicaria hydropiper	Persicaire poivre d'eau
Potamogeton natans	Potamot nageant
Spirodela polyrhiza	Spirodèle à racines nombreuses
Vallisneria spiralis	Vallisnérie spiralée
Veronica beccabunga	Véronique des ruisseaux

AFC :



Dissimilarité Bray-Curtis :



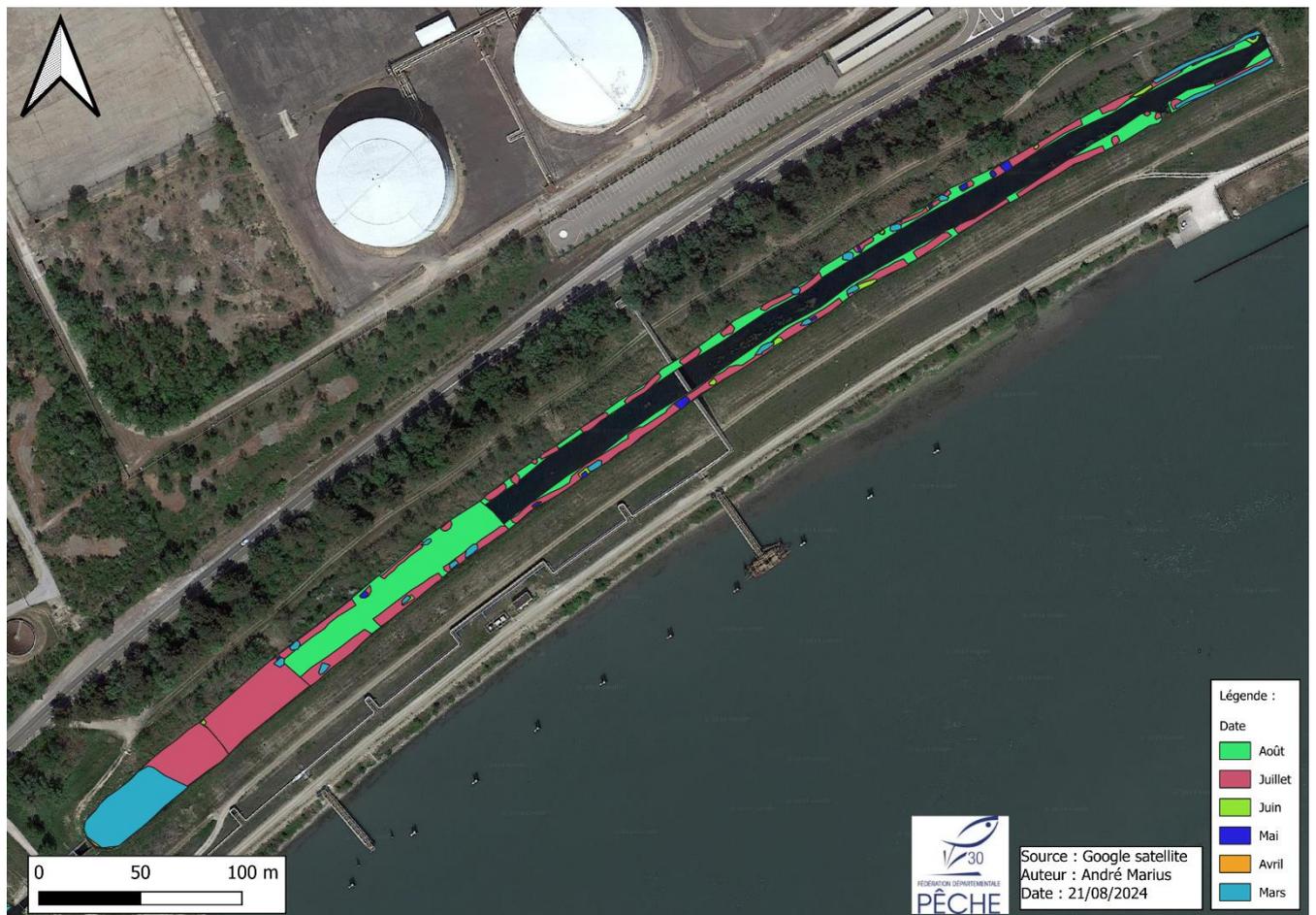
Annexe 4 : classe d'état pour les paramètres physico-chimique des cours d'eau

Paramètres	Très bon/ Bon	Bon / Moyen	Moyen/Médiocre	Médiocre/Mauvais
Oxygène dissous (mg/L)	8	6	4	3
Saturation en oxygène dissous (%)	90	70	50	30
Eaux cyprinicoles	24	25,5	27	28
pH minimum	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	8,2	9	9,5	10

Annexe 5 : Cartographie de la surface en *P. stratiotes*
Tronçon 1



Tronçon 2 :



Tronçon 3 :



Tronçon 4 :



Résumé :

La laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) est une plante aquatique flottante, originaire d'Amérique du Sud, qui s'est répandue dans les régions tropicales et subtropicales. Depuis 2022, elle est classée parmi les espèces exotiques envahissantes préoccupantes de l'Union Européenne. Cette plante est présente de manière pérenne sur le contre-canal du Rhône depuis 2016, où elle forme de denses tapis recouvrant certains tronçons en totalité. L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact de la laitue d'eau sur le contre-canal en examinant plusieurs aspects : la physico-chimie de l'eau, la colonisation par la laitue et ses interactions avec d'autres plantes, ainsi que la vie subaquatique. Les résultats montrent que les tapis denses de laitue d'eau augmentent la température de l'eau et réduisent la saturation en oxygène dissous. La surface colonisée par la laitue augmente considérablement dès l'arrivée des premières chaleurs et lorsque la température de l'eau dépasse 20 °C. Cette année, les tapis se sont développés plus tardivement en raison de conditions météorologiques défavorables. Lorsqu'elle est à son maximum, la laitue d'eau diminue la diversité des plantes aquatiques, bien que la composition floristique globale reste stable au fil des mois. De nombreuses espèces de poissons, y compris des espèces protégées comme *Anguilla anguilla*, habitent le contre-canal, mais la vie subaquatique est peu abondante sous les tapis denses de laitue. De plus, la laitue d'eau favorise la sédimentation, entraînant un fond très vaseux.

Mots clés : laitue d'eau, espèce exotique envahissante, physico-chimie, Rhône et macrophytes

Abstract:

Water lettuce (*Pistia stratiotes*) is a floating aquatic plant native to South America that has spread to tropical and subtropical regions. Since 2022, it has been listed as a concerning invasive exotic species by the European Union. This plant has been permanently present in the Rhône's side canal since 2016, where it forms dense mats covering certain sections entirely. The aim of this study is to analyze the impact of water lettuce on the side canal by examining several aspects: the physicochemical properties of the water, the colonization by the lettuce, its interactions with other plants, and the aquatic life. The results show that dense mats of water lettuce increase the water temperature and reduce dissolved oxygen saturation. The area covered by water lettuce significantly increases with the arrival of the first warm temperatures and when the water temperature exceeds 20°C. This year, the mats developed later due to unfavorable weather conditions. At its peak, water lettuce decreases the diversity of aquatic plants, although the overall floristic composition remains stable over time. Numerous fish species, including protected species like *Anguilla anguilla*, inhabit the side canal, but aquatic life is sparse under the dense mats of lettuce. Additionally, water lettuce promotes sedimentation, leading to a very muddy bottom.

Keywords: water lettuce, invasive alien aquatic plants, physiochemistry, Rhône and macrophytes