

*Compilation des données et mise en place d'une
recherche ciblée sur l'Élodée de Nuttall : plante
invasive des Gorges de l'Ain*



Lainé Alexandre

Master BEE Préservation et Gestion Conservatoire des Systèmes Ecologiques à l'Université
Paris-Saclay, session 2016-2017

Stage de M2 effectué du 07/02/17 au 04/08/17 au sein de l'Association de Gestion des
Espaces Karstiques (AGEK)

Soutenance orale le Mercredi 04 Octobre 2017

Maître de Stage : Davy Lorans (Chargé de projets pour la Boutique des Sciences de
l'Université de Lyon)

Tuteur référent de l'AGEK : Emmanuel Hyvernats (Coordinateur des projets de l'AGEK)

L'Université de Lyon, communauté d'universités et d'établissements créée par décret du 4 février 2015, regroupe 11 établissements d'enseignement supérieur et de recherche, le CNRS et plusieurs établissements associés.

Au sein de l'Université de Lyon, le **Service Sciences et Société** a comme mission de développer des liens entre la recherche académique et la société civile, en particulier dans les grands domaines où le progrès scientifique a un impact direct sur la vie des citoyens. Avec le soutien du Programme Avenir Lyon Saint-Etienne, il a créé en 2013 une nouvelle interface opérationnelle entre le monde universitaire et les collectifs de citoyens : la **Boutique des Sciences de l'Université de Lyon**.

Inscrit dans la lignée des *science shops* européennes, ce dispositif fournit un service d'accompagnement scientifique pour construire avec des structures à but non lucratif (associations, conseils de quartier, coopératives...) des réponses concrètes à des questions d'intérêt général. Pour les étudiants impliqués, ce dispositif de recherche participative offre ainsi la possibilité de :

- travailler avec et pour un collectif de citoyens,
- bénéficier d'un double encadrement scientifique et interdisciplinaire,
- participer à plusieurs sessions d'émulation regroupant les partenaires des projets 2016-2017,
- développer à partir d'un cas d'étude précis des compétences valorisables dans d'autres secteurs.

Concrètement, tout au long de l'année, la Boutique recueille la demande sociale. Les questions brutes sont ensuite examinées selon leur intérêt pour la recherche et l'absence de littérature existante puis proposées à un comité scientifique qui reformule les interrogations en questions de recherche. Les coordinateurs choisissent ensuite le format le plus adapté à la dimension du projet et se chargent de recruter l'équipe. Ils assurent ensuite toutes les étapes du processus de médiation entre les partenaires, coordonnent les moyens humains et financiers et fournissent des outils d'accompagnement. Ils veillent également à la restitution des résultats et préconisations au collectif de citoyens à l'origine de la demande.



Association loi 1901 agréée "Environnement, Jeunesse & Sports" par le Préfet de l'Ain. Membre du réseau d'EEDD du GRAINE Rhône-Alpes. Depuis 2014 : Section « spéléo » affiliée à la Fédération Française de Spéléologie. Section « rando » membre associé au Comité départemental de Randonnée pédestre.

Le "lab'eau" – 363 route du belvédère –
Romanèche

01250 HAUTECOURT-ROMANECHE

Tél : 04 74 51 81 19 ou 06 28 32 50 38

Courriel : agek.contact@orange.fr

L'Association de Gestion des Espaces Karstiques (AGEK) a été officiellement créée en 2000 ; son local, appelé le "lab'eau", est situé dans les gorges de l'Ain, dans l'ancienne école de Romanèche (sur la commune d'Hautecourt - 01250). Elle a pour objet :

- la protection, l'étude, l'exploration, la valorisation du milieu karstique dans son ensemble,
- le développement des activités sportives liées aux espaces karstiques et respectueuses de l'environnement, notamment la spéléologie,
- la promotion de l'éducation à l'environnement par des actions pédagogiques liées au patrimoine karstique,
- la gestion de ces espaces notamment du milieu souterrain.

L'A.G.E.K. travaille avec les scientifiques, des sportifs, des environnementalistes, des enseignants et des élus locaux, qui sont intéressés par le milieu karstique, au sens global, c'est à dire : milieu souterrain et de surface.

> **EDUQUER**

L'A.G.E.K. encadre des animations pédagogiques auprès des scolaires, sur des sites remarquables, notamment sur le sentier karstique de Drom / Ramasse, autour de la grotte du Pissoir à Torcieu, dans le massif karstique d'Aromas et de la reculée de Corveissiat, les sources du Suran, de la Reyssouze, etc...

> SENSIBILISER

En été, l'A.G.E.K. organise des visites accompagnées et commentées, intitulées « sur les chemins de l'eau », en particulier à Drom / Ramasse et à Corveissiat.

> PROTEGER

L'A.G.E.K. est gestionnaire, pour le compte des communes, du site classé de la grotte de Corveissiat et du réseau souterrain du puits de Rappes à Neuville-sur-Ain, inscrits dans le programme européen Natura 2000 en Revermont.

> ETUDIER

L'A.G.E.K. mène des opérations de recherche de connaissances sur les réseaux hydrologiques karstiques (colorations, prospections).

De même, les membres de l'A.G.E.K. interviennent pour le suivi de la qualité de l'eau dans des rivières souterraines et de leurs points d'exsurgence, notamment participation au programme de surveillance qualitatif de la résurgence de la grotte de Corveissiat mené par le Conseil départemental de l'Ain.

> ACTIONS-PHARE EN COURS

- Tournée de l'exposition itinérante sur le site classé de la grotte de Corveissiat, la reculée sous ses différents aspects (histoire, hydrologie, spéléologie, faune, etc...).
- Aménagements dans trois sites patrimoniaux du Revermont, en lien avec le comité de pilotage de chaque site (Département, communes, Natura 2000, associations locales...).

Remerciements

Pour commencer je souhaite remercier tous les membres du dispositif Boutique des Sciences de l'Université de Lyon, en grande partie son comité scientifique, pour avoir sélectionné cette demande sociale, l'avoir reformulé et l'avoir proposé aux étudiants des masters concernés.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon maître de stage Davy Lorans (Médiateur scientifique/Référent Boutique des Sciences) ainsi que sa collègue Pauline Bryère (Médiatrice scientifique) pour avoir retenu ma candidature.

Je leur suis très redevable de m'avoir fait participer à différentes activités de vulgarisation scientifique afin que j'apprenne à partager mes connaissances avec un public très large et diversifié.

Concernant l'AGEK, un grand merci à Philippe Vermeil (Président de l'association), pour avoir fait confiance au recrutement effectué par Davy et Pauline. Soucieux de savoir si je travaillais dans de bonnes conditions, il s'est souvent intéressé à l'avancée de mes recherches et a pu me fournir du matériel nécessaire à mon travail.

Je suis très reconnaissant à Christian Fèvre (Membre du CA de l'AGEK) pour m'avoir accueilli le premier jour de mon stage et m'avoir fait découvrir les locaux de l'AGEK ainsi qu'une partie de la rivière d'Ain.

De même, je remercie infiniment Michel Geoffray (Membre du CA de l'AGEK) et Michèle Geoffray (Secrétaire de l'AGEK) pour m'avoir hébergé à leur domicile durant tout le mois de février, le temps nécessaire pour que je puisse trouver un logement fixe à Bourg-en-Bresse.

Mes remerciements vont naturellement à Emmanuel Hyvernats (Coordinateur des projets de l'AGEK), qui a été mon tuteur référent au sein de ma structure d'accueil.

Son expérience en tant qu'éducateur à l'environnement m'a bien aidé quand il s'agissait de réfléchir à quels messages délivrer auprès des différents publics susceptibles de participer à mes activités de vulgarisation scientifique. Par ailleurs, de par son expérience et son ancienneté dans la région, il a pu me fournir bon nombre de contacts utiles à mon étude.

Je souhaite remercier chaleureusement mes amis Amélie Jacob et Axel Dufour pour m'avoir apporté leur soutien et leur expérience en termes d'infographie. Grâce à leur aide, le rendu visuel final de mes posters est bien supérieur à ce que j'espérais pouvoir présenter lors des différents événements de sensibilisation auxquels j'ai participé, et vais participer.

Merci à Sara Puijalon, chercheuse au LEHNA (Laboratoire d'Écologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés), pour m'avoir apporté son aide lorsque j'ai eu besoin de ses conseils.

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Alain Dutartre (Hydrobiologiste), expert en matière de gestion des milieux naturels vis-à-vis des plantes invasives, pour sa disponibilité et ses réponses à mes nombreuses questions qui m'ont permis d'avancer dans ma réflexion.

Par ailleurs, j'ai eu l'occasion de rencontrer Frédéric Comtet (Président de l'association Sauvegarde de Chambod) au cours de mon étude. Ayant grandi au bord de l'île Chambod, il a pu me parler des nombreuses observations faites au fil des ans et me fournir plusieurs photos pour étayer ses propos. Je lui suis très reconnaissant de m'avoir permis d'utiliser une de ses embarcations personnelles afin que je puisse mener à bien une prospection sur la rivière d'Ain.

Finalement, je tiens à remercier mes parents, sans qui ce stage n'aurait pas été envisageable pour moi, principalement pour des raisons financières. Ils m'ont toujours apporté leur soutien afin de s'assurer que je ne manquais de rien et que je puisse assurer la mission qui m'était confiée du mieux possible.

Je remercie tout particulièrement mon père Denis Lainé, grand bricoleur, qui m'a aidé à construire un aquascope à moindre frais afin de faciliter mes observations sur le terrain.

Table des matières

Introduction	1
Partie I : Présentation du site d'étude et de l'Élodée de Nuttall	5
I. La rivière d'Ain et la retenue d'Allement	5
II. L'île Chambod.....	6
III. Élodée de Nuttall : <i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H. St. John (1920)	7
1. Classification	7
2. Origine, répartition et voies d'introduction	8
3. Description	8
4. Modes de reproduction	9
5. Mode de propagation.....	10
6. Habitats.....	10
7. Comportement aire d'origine et aire d'introduction.....	10
8. Impacts sur la biodiversité.....	11
Partie II : Résultats	14
I. Causes & Conséquences de la présence d' <i>Elodea nuttallii</i> à Chambod et premières préconisations.....	14
1. Facteurs influençant l'installation et la prolifération de l'Élodée de Nuttall à Chambod	14
a. Facteurs influençant l'installation des macrophytes.....	14
b. Facteurs influençant la dynamique de croissance et la densité de population de l'Élodée de Nuttall.....	14
c. Hypothèses concernant l'installation et la prolifération de l'Élodée de Nuttall à Chambod.	15
2. Impacts avérés et supposés de l'Élodée de Nuttall à Chambod.....	18
3. Mesures à prendre pour améliorer l'état écologique de la retenue d'Allement et assurer sa continuité écologique	19
II. Cartographie et plan d'échantillonnage.....	21
1. L'imagerie par drone	21
2. Echantillonnage par la méthode des points-contacts	22
a. Présentation de la méthode	22
b. Test de la méthode et interprétation des résultats obtenus	23
III. Méthodes de gestion de l'Élodée de Nuttall.....	26
1. Méthodes de gestion existantes	26
a. La lutte physique	26
b. La lutte chimique.....	28

c. La lutte biologique.....	28
d. La mise en assec du cours d'eau.....	28
2. Méthodes de gestion à préconiser aux abords de l'île Chambod.....	28
Discussion-Conclusion.....	33
Bibliographie.....	39
Annexes.....	47
Annexe n°1 : L'île Chambod.....	47
Annexe n°2 : L'Élodée de Nuttall.....	48
Annexe n°3 : Herbiers denses d'Élodées de Nuttall.....	49
Annexe n°4 : Devis drone aquatique SpyBoat Goose.....	50
Annexe n°5 : Aquascope.....	51
Annexe n°6 : Vulgarisation scientifique.....	52
Annexe n°7 : La Renouée du Japon.....	55
Résumé.....	56

Introduction

Sur de grandes échelles de temps, les espèces apparaissent et disparaissent. Les données paléontologiques indiquent pour chacune d'entre-elles une durée d'existence comprise entre un et dix millions d'années. Si l'on considère une moyenne de l'ordre de 5 millions d'années, sur une période de 100 ans, on s'attendrait à voir disparaître $1/50\ 000^{\text{ème}}$ des espèces, soit 0,002 %. Hors, pour le $\text{XX}^{\text{ème}}$ siècle, le taux d'extinction est estimé comme étant 50 fois supérieur au taux moyen pour les plantes, 260 fois supérieur au taux moyen pour les vertébrés et 560 fois supérieur au taux moyen pour les mammifères (Teyssède, 2004).

Les causes majeures de l'érosion actuelle de la biodiversité sont au nombre de quatre. La première, qui en explique à elle seule les deux tiers, est la destruction et la pollution des habitats. Vient ensuite la surexploitation des ressources naturelles. Les introductions d'espèces exotiques, certaines devenant envahissantes, se situent à la $3^{\text{ème}}$ position et enfin, le dernier facteur agissant sur le déclin de la biodiversité est le changement climatique (Walther *et al.*, 2009 ; CSPNB, 2012 ; UICN, 2016).

Bien évidemment, ces facteurs peuvent agir soit séparément, soit de manière combinée, augmentant d'autant plus le risque d'extinction des espèces qui y sont confrontées.

La France métropolitaine comprend plus de 6 000 espèces végétales qui se répartissent approximativement en 4 900 espèces indigènes et au moins 1 300 espèces introduites par l'Homme (volontairement ou accidentellement) à partir d'une autre région du monde (Fried, 2012).

La majeure partie de ces plantes exotiques sont qualifiées d'accidentelles ou d'adventices. En effet, leur présence, via des introductions répétées, n'est souvent qu'éphémère, soit parce qu'elles n'ont pas été introduites en nombre suffisant, soit parce qu'elles sont mal adaptées à leurs nouvelles conditions environnementales. Après 25 ans de présence, les plantes introduites qui parviennent à se reproduire de façon autonome et à maintenir une population viable sans intervention humaine sont considérées par les botanistes comme étant naturalisées. Parmi ces plantes naturalisées, celles qui sont capables d'étendre rapidement leur aire de distribution dans le territoire où elles sont introduites sont considérées comme étant des plantes invasives (Fried, 2012).

Cette extension se manifeste souvent par des populations de taille importante, qui s'accompagne généralement d'impacts environnementaux et/ou économiques et/ou sanitaires, et résultent en des changements significatifs de composition, de structure et du fonctionnement des écosystèmes (Cronk & Fuller, 2001 ; Fried, 2012).

De nombreuses caractéristiques biologiques ont été étudiées afin de déterminer les facteurs principaux favorisant les invasions. Deux aspects fondamentaux ont été retenus : la capacité de dispersion et la capacité de former des populations denses monospécifiques. Le premier point repose sur une production importante de graines, des adaptations pour la dispersion à longue distance ou bien la capacité de produire de nouveaux individus à partir de petits fragments (rhizomes, boutures de tiges). En principe, les plantes exotiques envahissantes sont plus compétitives que les plantes indigènes du milieu envahi. Cela peut se traduire, entre autres, par une plus grande taille, une surface foliaire totale plus élevée ou encore une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs du milieu (Muller 2004 ; Fried, 2012).

D'après Muller (2000), le caractère invasif d'une espèce non indigène serait, en partie, le résultat de changements dans l'allocation des ressources de la plante vers la production de biomasse végétale (trade-offs).

En 1996, Williamson énonce la règle des 10% qui prévoit que sur mille espèces importées, environ une centaine va devenir adventice, dix vont se naturaliser et seulement une va devenir invasive. L'idée qu'il souhaite en retenir est que seule une part infime de toutes les espèces introduites va devenir invasive, bien que cette règle semble avoir été sous-estimée chez certains groupes taxonomiques avec jusqu'à 50% d'invasifs chez les mammifères (Jeschke et Strayer, 2005 ; DAISIE, 2009).

La mondialisation ayant connecté des sites du globe initialement très isolés, les échanges de diverses marchandises ont conduit et conduisent à importer tous types d'organismes vivants (animaux, plantes, champignons, bactéries, etc.), accidentellement (pontes d'insectes, semences de plantes, spores de champignons, etc.) ou de manière volontaire (plantes ornementales, mellifères, fourragères, nouveaux animaux de compagnie, etc.) (Muller, 2004 ; Fried, 2012).

Un des enjeux majeurs de la biologie des invasions est d'être capable de prédire correctement quelles espèces introduites, ou en voie d'introduction, risquent de devenir invasives et de causer des impacts non négligeables sur l'écosystème et les activités humaines, afin de pouvoir agir avant qu'il ne soit trop tard. (Muller, 2004 ; Fried, 2012).

Dans les gorges de l'Ain, la base de loisirs de l'île Chambod se trouve confrontée depuis plusieurs années à une espèce exotique envahissante : l'Élodée de Nuttall (*Elodea nuttallii*). Occasionnant des gênes régulières pour les activités nautiques en période estivale, le Syndicat Mixte pour l'Équipement et l'Aménagement de l'île Chambod (SMEA) a tenté à maintes reprises de se débarrasser de ces herbiers denses, sans réel succès !

Par le passé, l'aide de l'AGEK avait été sollicité par le SMEA afin d'agir concernant la gestion de l'Élodée de Nuttall. Sachant que le bureau de l'AGEK devait être prochainement déplacé de Romanèche à Chambod, Emmanuel Hyvernât, qui connaissait le dispositif Boutique des Sciences de l'Université de Lyon, a décidé de leur faire parvenir une demande sociale concernant le problème posé par cette plante. Et c'est ainsi que j'ai rejoint les rangs de l'AGEK dans le but de proposer des mesures de gestion permettant de lutter contre la prolifération de cette plante aquatique, entre autres.

J'ai donc commencé par éplucher la bibliographie scientifique en rapport avec la biologie de cette espèce afin de répondre aux nombreuses questions la concernant.

Par exemple, comment se comporte l'Élodée de Nuttall dans son aire de répartition naturelle ? Comment expliquer une telle dynamique de croissance en dehors de son aire d'origine ? Quels paramètres conditionnent son installation et favorisent sa croissance aux abords de l'île Chambod ? Quels impacts cause-t-elle à Chambod ?

En parallèle, je me suis intéressé au fonctionnement hydrologique de la rivière d'Ain afin d'essayer de comprendre en quoi le fonctionnement des barrages hydro-électriques peut avoir une influence sur le développement des macrophytes.

Par ailleurs, je me suis questionné concernant la gestion passée de l'île Chambod et les moyens envisageables qui permettraient de rendre un cours plus naturel à cette partie de la rivière très artificialisée :

Serait-il possible de reconnecter la lône au cours principal de la rivière afin de rendre une continuité écologique plus naturelle à cette partie de la rivière d'Ain ?

A l'aide de toutes les informations recueillies et après plusieurs visites sur site je me suis interrogé sur les différentes méthodes existantes permettant de mettre en place un suivi des herbiers aquatiques. Le but final étant de définir un protocole d'action, comprenant un plan d'échantillonnage, facilement réalisable et répétable à l'avenir par les gestionnaires du site.

Finalement, je me suis concentré sur les réponses à apporter à la problématique majeure concernant cette plante invasive, à savoir :

De par le monde, quelles sont les méthodes de gestion employées dans les cours d'eau envahis par l'Élodée de Nuttall, ou de toute autre plante de la famille des Hydrocharitacées ?
Quelle est leur efficacité ?

Pour enfin aboutir à l'objectif principal de mon stage :

En tenant compte des moyens techniques, financiers et humains dont disposent les gestionnaires de l'île Chambod, quelles sont les méthodes de gestion les plus adaptées à mettre en œuvre afin de lutter contre les peuplements d'Élodées de Nuttall les années de forte prolifération ?

Partie I : Présentation du site d'étude et de l'Élodée de Nuttall

I. La rivière d'Ain et la retenue d'Allement

L'Ain est une rivière française qui prend sa source en Bourgogne-Franche-Comté dans une vallée étroite du Jura à environ 700 mètres d'altitude, et se jette dans le Rhône (rive droite) à Saint-Maurice-de-Gourdans (Ain) après avoir parcouru 190 kilomètres (Sandre, 2012).

Le contexte géologique de la région du Bugey est dominé par des formations calcaires qu'on désigne aussi sous le nom de karst. Le bassin se développe dans des assises calcaires perméables ce qui explique les manifestations de nombreux phénomènes karstiques : circulation souterraine, pertes, résurgences, dolines, etc...

Les reliefs caractéristiques de la région sont dus à l'action de l'eau sur la roche calcaire, et la perméabilité confère au régime une irrégularité ou une variabilité marquée pouvant conduire à des phénomènes de crues violentes (AGEK – L'eau en pays calcaire).

Dans ce contexte de grand cours d'eau, les crues représentent la principale source de perturbations et peuvent avoir des répercussions pluriannuelles sur le fonctionnement écologique de la rivière (Breugnot, 2007). Auparavant, les crues étaient fréquentes et fortes. Hors, depuis l'année 1931 et la mise en service du barrage hydro-électrique de Cize-Bolozon, la rivière d'Ain n'a cessé de s'artificialiser par l'intermédiaire des actions humaines.

Le barrage le plus en amont de la rivière d'Ain est le barrage de Vouglans, mis en service en 1968 et constituant la 3^{ème} plus grande retenue artificielle d'eau de France. Vient ensuite le barrage de Saut Mortier mis en service en 1966, le barrage de Coiselet, mis en service en 1970, le barrage de Cize-Bolozon, et enfin le barrage d'Allement mis en service en 1960 (EDF Unité de Production Est - GEH Jura Bourgogne, 2009).

A 268 mètres d'altitude, sur la rivière d'Ain, la retenue d'Allement se situe donc en aval des barrages de Cize-Bolozon, Coiselet et Vouglans. D'une profondeur maximale théorique de 19,5 mètres, elle s'étend sur 227 hectares. L'Ain est son unique tributaire, dont elle reçoit les eaux turbinés à Cize-Bolozon. Elle est classée MEFM (masse d'eau fortement modifiée). Son bassin versant s'étend sur 2630 km² (GREBE, 2014).

Hormis la production hydro-électrique, fonction principale de ces barrages et de leur retenue d'eau, ils possèdent un rôle d'écrêteurs de crues et de soutien d'étiage (GREBE, 2014), c'est-à-dire qu'ils réduisent les variations naturelles des débits (Breugnot, 2007).

Je me suis donc intéressé aux liens de cause à effet qui peuvent exister entre la gestion du cours d'eau qui est effectuée via le système des barrages hydro-électriques, et la dynamique de croissance de l'Élodée de Nuttall en amont du barrage d'Allement.

Ces liens entre état trophique et hydrologique de la rivière, et le développement des herbiers d'Élodées de Nuttall seront détaillés dans la partie Résultats.

II. L'île Chambod

L'île Chambod (cf. Annexe n°1), située dans les Gorges de l'Ain, est une île artificielle de 20 hectares qui a été formée en 1960 après la mise en eau du barrage d'Allement qui a fait monter localement le niveau de la rivière d'Ain de 20 mètres (Naturama). Elle se situe à environ 13,5 km en aval du barrage de Cize-Bolozon et environ 1,7 km en amont de celui d'Allement (Géoportail).

La montée des eaux, à l'origine de la formation de l'île, a séparé le lit de la rivière d'Ain en deux, formant un bras secondaire qu'on appelle couramment « lône » dans la région. La lône, très appréciée des pêcheurs en temps normal, constitue une frayère naturelle. En effet, les femelles de poissons et d'amphibiens viennent y pondre leurs œufs de manière préférentielle puisque la profondeur y est plus faible, il y fait donc plus chaud et les macrophytes s'y développent mieux, ce qui constitue autant de cachettes pour se prémunir de la prédation (Haury & Baglinière, 1996). De plus, elles servent également d'habitats pour les macroinvertébrés (Kaenel et al., 1998) ainsi que de zones tampons pendant les crues (Naturama).

Hors, peu de temps après la mise en eau de l'île, vers les années 1970, un passage en terre a été construit afin de relier la berge de la commune de Chambod à celle de l'île, dans le but d'acheminer des véhicules et des matériaux pour y effectuer des travaux.

Ce devait être un passage temporaire mais le fait est qu'aujourd'hui encore ce passage existe et semble poser plusieurs problèmes, principalement concernant le mauvais écoulement de l'eau dans la lône.

Nous reviendrons sur les conséquences de cette gestion et sur les préconisations à y apporter lors de la partie Résultats.

Aujourd'hui, l'île Chambod sert de lieu de pêche et de promenade à l'année, ou bien de base de loisirs en période estivale avec une zone de baignade surveillée ainsi que de nombreuses activités nautiques (canoë-kayak, aviron, ski nautique, etc...) proposées par les différents clubs basés sur l'île. C'est le Syndicat Mixte pour l'Équipement et l'Aménagement (SMAE) de l'île Chambod qui est le gestionnaire principal du site et qui possède le pouvoir décisionnel et budgétaire nécessaire afin de prendre des décisions quant aux diverses mesures de gestion à apporter au site.

Depuis le début des années 2000, et en particulier lors de la canicule estivale exceptionnelle de 2003, les usagers de la base de loisirs de l'île Chambod sont confrontés à la prolifération d'une plante aquatique exotique : l'Élodée de Nuttall.

III. Élodée de Nuttall : *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John (1920)

1. Classification

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Liliopsida
- Sous-classe : Alismatidae
- Ordre : Hydrocharitales
- Famille : Hydrocharitaceae
- Genre : Elodea
- Nom binomial : *Elodea nuttallii*

2. Origine, répartition et voies d'introduction

L'Élodée de Nuttall est une plante aquatique originaire d'Amérique du Nord. Elle a été trouvée en Europe pour la première fois en 1939 en Belgique (Wolff, 1980 ; Simpson, 1984). Sa première apparition en France est mentionnée dans les années 1950 dans la région Alsace (Geissert et al., 1985).

Elle colonise actuellement les vallées de la Loire et du Rhône (Muller, 2004 ; Greulich & Trémolières, 2006) et est très présente en Europe de l'Ouest (Suisse, Belgique, Allemagne, Danemark) et du Nord (Suède, Irlande) (FCBN, 2012).

D'après Mériaux (1979), il existe deux hypothèses pouvant expliquer l'introduction de cette espèce sur notre territoire :

- Elle a pu être introduite par l'intermédiaire des marinières ou de leurs péniches qui circulent dans le réseau de canaux du nord de la France et du Benelux ;
- Il a pu y avoir une intervention directe des mammifères migrateurs, tels le Rat musqué (*Ondatra zibethicus*), ou de la macro-avifaune, dans le transport des hibernacles de la plante ou de fragments de tiges (Felzines & Bonnot, 1981).

Cependant, cette plante étant très prisée en aquaculture, il est probable qu'elle se soit initialement retrouvée introduite dans le milieu naturel via le commerce des plantes ornementales d'aquarium (Di Nino et al., 2005).

3. Description

L'Élodée de Nuttall (cf. Annexe n°2) est une plante herbacée aquatique vivace entièrement submergée pouvant atteindre un mètre de long (80 centimètres en moyenne) (Terrin, 2011).

Elle présente généralement des tiges grêles ramifiées entre 20 et 30 centimètres de long qui sont cassantes au niveau des nœuds. La plante a la capacité de s'enraciner à l'aide de racines blanches, non ramifiées et filiformes, mais de manière superficielle (FCBN, 2012).

De plus, à partir des nœuds de la tige, à la base des feuilles, des racines adventives fibreuses peuvent aussi se développer. Les feuilles, de couleur vert-pâle, sont réparties de manière régulière autour de la tige en verticilles de 3. Les feuilles sont généralement arquées vers le bas, pliées le long de la nervure médiane et aiguës à acuminées au sommet.

En moyenne, elles sont plus de quatre fois plus longues que larges (Terrin, 2011 ; FCBN, 2012). D'après Pieret et al. (2007) leur taille est rarement plus longue que 10 millimètres.

Les fleurs, unisexuées, apparaissent à la surface de l'eau portées par un pédoncule floral mince, de 2 à 15 centimètres de long, et enveloppées dans une spathe. Une fleur compte 3 pétales violacés et trois sépales identiques. Les fruits alors produits sont des capsules de 1 centimètre de long et 3 millimètres de large contenant de 1 à 5 graines (Terrin, 2011 ; FCBN, 2012).

Confusions possibles avec *Lagarosiphon major*, *Hydrilla verticillata*, *Egeria densa*, *Elodea callitrichoides* ou encore *Elodea canadensis*.

4. Modes de reproduction

L'Élodée de Nuttall est une plante dioïque à floraison estivale (juin-septembre) et pollinisation anémophile-hydrophile (Terrin, 2011 ; FCBN, 2012 ; Fried, 2012)

- Reproduction sexuée : c'est le mode de reproduction le plus rare en Europe car on estime que les pieds à fleurs femelles sont beaucoup plus fréquents dans nos régions que les pieds à fleurs mâles (Di Nino et al., 2005). Cependant, lorsque les conditions sont favorables, la plante fleurit de juin à septembre et les fleurs femelles viennent affleurer à la surface de l'eau au sommet de longs pédicelles. La pollinisation se produit alors près de la surface de l'eau via la dispersion du pollen par le vent ou les courants d'eau. Lorsqu'elles arrivent à maturité les capsules produites libèrent les graines (FCBN, 2012).
- Reproduction asexuée : c'est le principal mode de reproduction de la plante en Europe. Les tiges sont très cassantes et leur fragmentation peut faire place à de nombreux cas de bouturage car ces portions brisées peuvent rapidement produire de nouvelles racines adventives (Terrin, 2011). Outre ces très bonnes capacités régénératrices, la plante produit des bourgeons spécialisés, les hibernacles, qui lui permettent d'assurer sa survie en hiver et sa multiplication rapide via la croissance de nouvelles pousses latérales dès que l'eau atteint 10°C (Kunii, 1984).

5. Mode de propagation

Les courants d'eau ainsi que les oiseaux aquatiques sont susceptibles de transporter des fragments de tiges d'élodées de Nuttall et de participer activement à leur dissémination dans la région (Barrat-Segretain, 2005).

Les crues, ainsi que les activités humaines de bord de rive peuvent être des facteurs favorisant la dispersion sur plus ou moins longue distance de la plante d'un site à un autre.

Les rejets d'aquarium peuvent eux aussi constituer une source de dispersion (Cook & Urmi-Koning, 1985). Finalement, le dernier facteur de propagation recensé correspond à la propagation des sections de tiges qui peuvent se prendre dans les hélices des bateaux ainsi que dans les équipements d'entretiens des cours d'eau (Bowmer et al., 1995).

6. Habitats

L'Élodée de Nuttall est une plante qui privilégie les courants faibles pour son installation, elle se développe donc en eaux calmes, voire stagnantes. Elle peut, en général, pousser à des profondeurs allant jusqu'à 3 mètres (Thiébaud et al., 1997), mais cela dépend fortement des conditions de luminosité pouvant être atténuées par une turbidité élevée dans le plan d'eau.

Elle s'ancre préférentiellement sur des substrats fins de type limon (Barrat-Segretain, 2001) et présente une large amplitude concernant la minéralisation de l'eau (Thiébaud et al., 1997), bien qu'elle semble particulièrement apprécier les eaux fortement minéralisées. Concernant la trophie, la plante va privilégier les cours d'eau méso-eutrophes à eutrophes (Thiébaud et al., 1997). Elle est de même fréquemment présente dans les eaux alcalines ($7,5 < \text{pH} < 7,9$) et affectionne particulièrement les eaux chaudes ($< 25^{\circ}\text{C}$) (Wolff, 1980) bien qu'elle soit capable de coloniser des cours d'eau à forte variation de température (FCBN, 2012).

7. Comportement aire d'origine et aire d'introduction

Dans son aire de répartition naturelle, l'Élodée de Nuttall est rarement envahissante puisqu'elle entre en compétition pour les ressources avec de nombreuses autres plantes autochtones. De plus, elle subit une prédation par des herbivores spécialistes, des herbivores généralistes, et peut être sensible à diverses maladies (champignons, virus, etc...).

Ce sont tous ces agents biologiques qui contribuent à la régulation de l'abondance des espèces des communautés végétales (Fried, 2012).

En revanche, lorsque l'Élodée de Nuttall est introduite sur un nouveau territoire, elle ne se trouve généralement plus en présence de ses ennemis spécialistes et est probablement moins consommée par les herbivores généralistes qui sont plus habitués à reconnaître les plantes indigènes (Muller, 2000 ; Erhard et al., 2007 ; Fried, 2012).

Cette absence d'ennemis naturels assure une meilleure compétitivité à l'Élodée de Nuttall par rapport aux plantes indigènes voisines et peut conduire à des évolutions génétiques.

En effet, plutôt que de dépenser leurs réserves énergétiques dans la production de substances allélopathiques nécessaires à la défense contre l'herbivorie (Bowers & Stamp, 1993 ; Erhard et al., 2007), certains pieds d'élodées vont être sélectionnés car ils investissent plus d'énergie pour la croissance (trade-offs) ce qui leur confère un avantage compétitif sur les plantes indigènes (Muller, 2000 ; Fried, 2012).

D'ailleurs, Thiébaud & Di Nino (2009) ont démontré que les populations européennes d'Élodées de Nuttall présentent généralement des tiges principales plus longues et plus ramifiées que les populations nord-américaines, les rendant encore plus compétitives.

8. Impacts sur la biodiversité

Lors de la période estivale et lorsque tous les paramètres sont réunis, l'Élodée de Nuttall tend à former des peuplements denses monospécifiques (cf. Annexe n°3) qui ont des impacts, souvent négatifs, sur l'écosystème envahi, dont entre autres :

- **Sur le fonctionnement des écosystèmes**

- Le tapis végétal dense des Élodées de Nuttall a tendance à bloquer la diffusion de l'oxygène de l'air dans l'eau, ce qui provoque des conditions anaérobiques qui peuvent être directement préjudiciables pour la macrofaune et la microfaune aquatiques (Muller, 2004 ; Pieret et al., 2007).
- Le développement étagé de l'Élodée de Nuttall a tendance à augmenter la réflexion des rayons incidents qui pénètrent dans l'eau provoquant une diminution de l'intensité lumineuse pour les espèces immergées sous-jacentes et limite donc leur croissance et leur survie (Barrat-Segretain, 2004 ; Pieret et al., 2007).

- A la fin de la saison de croissance, lorsque les pieds d'Élodées de Nuttall entrent en décomposition, ils induisent une eutrophisation secondaire des eaux. S'ils ne sont pas prélevés du milieu, la majeure partie des nutriments et des polluants bioaccumulés au cours de la vie de la plante vont être relâchés dans le cours d'eau induisant une augmentation de son niveau trophique et favorisant ainsi l'installation d'espèces eutrophes (Thiébaud et al., 1997 ; Di Nino et al., 2005).

De plus, leur décomposition provoque une accélération de la sédimentation des matières organiques et a pour conséquence une augmentation de l'envasement du milieu (Pieret et al., 2007).

- Modification des régimes hydrauliques : réduction de l'écoulement de l'eau intra-herbiers (Muller, 2004 ; Di Nino et al., 2005 ; Pieret et al., 2007) et augmentation du risque d'inondation du sol adjacent (Di Nino et al., 2005)

- **Sur la structure des communautés végétales en place**

- Dans un milieu envahi, il y a un risque à terme que l'Élodée de Nuttall constitue à elle seule la strate inférieure d'une communauté végétale et s'oppose ainsi au développement des espèces autochtones. Ce pouvoir compétitif peut conduire dans un premier temps à une diminution de la diversité floristique de la station envahie et peut finalement aboutir à une perte de diversité biologique du cours d'eau (Muller & Thiébaud, 2004).

- **Sur les interactions avec les espèces indigènes animales et végétales**

- Synthèse de composés phénoliques limitant la croissance de plusieurs producteurs primaires (algues épiphytes et certaines cyanobactéries) via la perturbation de leur absorption de minéraux (Erhard & Gross, 2006).
- Synthèse de substances allélopathiques induisant une mortalité élevée chez les herbivores généralistes consommant des parties d'Élodée de Nuttall (Bowers & Stamp, 1993 ; Erhard et al., 2007).

- **Sur les usages**

- L'importante biomasse produite en période estivale par les pieds d'Élodées de Nuttall peuvent constituer une gêne importante pour la pratique des loisirs nautiques et de la pêche (Muller, 2004 ; Pieret et al., 2007), et induire ainsi d'importants coûts de gestion (Demierre & Perfetta, 2002).

Dans la partie Résultats, nous reviendrons sur les impacts supposés et avérés provoqués par la prolifération de l'Élodée de Nuttall au niveau de l'île Chambod, et nous envisagerons les méthodes les plus propices à employer pour son suivi et sa gestion.

Partie II : Résultats

I. Causes & Conséquences de la présence d'*Elodea nuttallii* à Chambod et premières préconisations

1. Facteurs influençant l'installation et la prolifération de l'Élodée de Nuttall à Chambod

Afin de définir les moyens de gestion les plus naturels et efficaces possibles face à l'arrivée d'un nouvel envahisseur dans une région, il convient en premier lieu de comprendre les diverses raisons permettant à cette espèce de s'établir et se maintenir dans son nouvel environnement. Dans un second temps, il faut s'intéresser aux facteurs susceptibles d'avoir un impact positif sur la création de biomasse de la plante, pouvant conduire à terme à des herbiers monospécifiques très denses.

a. Facteurs influençant l'installation des macrophytes

Des études poussées menées par Dutartre et al. (1994) et par Breugnot (2007) avaient pour but, entre autres, le déterminisme des facteurs influençant de manière significative le développement des peuplements macrophytiques en grand cours d'eau. Les résultats de leurs études montrent que les facteurs principaux qui conditionnent le lieu de croissance des macrophytes ne sont autres que la profondeur, la nature des sédiments, ainsi que les chroniques d'écoulements (vitesse du courant maximales et moyennes).

En général, dans les grands systèmes fluviaux, la qualité des eaux, et notamment la teneur en nutriments de l'eau, semble peu influencer la répartition des macrophytes mais peut avoir des conséquences sur leur production de biomasse végétale (Dutartre et al., 1994 ; Breugnot, 2007).

b. Facteurs influençant la dynamique de croissance et la densité de population de l'Élodée de Nuttall

Un certain nombre de nutriments et de micropolluants minéraux ont été étudiés et l'on a pu démontrer que certains d'entre eux pouvaient conférer un gain de croissance chez l'Élodée de Nuttall, ce qui permettrait d'expliquer en partie son caractère invasif dans certains milieux.

D'après Barrat-Segretain (2004), l'élongation de la tige est indépendante du niveau trophique, cependant, un contenu enrichi en phosphate favorise la formation de branches latérales d'Élodées de Nuttall, contribuant à la formation de la canopée dense qui ombrage les espèces autochtones particulièrement tôt dans la saison et diminue leur compétitivité.

Par ailleurs, Thiébaud (2005) démontre qu'*E. nuttallii* se montre plus apte à capter et stocker le phosphore que les espèces autochtones telles que *Callitriche platycarpa* ou *Ranunculus peltatus* avec qui elle entre en concurrence. Cette aptitude à stocker de grandes quantités de phosphore lui permettrait de résister aux importantes fluctuations caractéristiques des milieux eutrophes (Robach et al., 1996).

Ozimek et al. (1993) ont démontré qu'une eau enrichie en azote améliore le taux de croissance de l'Élodée de Nuttall, à condition que la concentration en azote soit inférieure à 4 mg/L.

En 1995, Rolland et al. ont démontré que le développement d'*E. nuttallii* est maximal dans le cadre d'un apport combiné d'azote ammoniacal et d'azote nitrique en proportions équimolaires et en proportion fortement majoritaires d'ion ammonium.

D'après Wang et al. (2010), la croissance de l'Élodée de Nuttall peut être stimulée à faible dose par la bioaccumulation de cuivre (de 0 à 6,5 mg/kg en poids sec de racines et pousses).

Un autre facteur important influençant le taux de croissance de l'Élodée de Nuttall est la température de l'eau. Ce facteur est lié à l'éclairement et à la température de l'air, et agit sur l'activité métabolique de la plante. Lorsque l'eau est proche de 25°C, sans dépasser cette valeur, les conditions de croissance sont optimales pour les élodées (Wolff, 1980).

c. Hypothèses concernant l'installation et la prolifération de l'Élodée de Nuttall à Chambod

En plus des facteurs évoqués en Partie I.III.6.7., tous les facteurs mentionnés précédemment en Partie II. peuvent conduire à favoriser l'installation et la croissance des pieds d'Élodées de Nuttall.

Cependant, que peut-on conclure sur l'action réelle de ces différents facteurs au niveau de la retenue d'Allement ?

Les seules données chiffrées disponibles ont été mesurées au cours de 4 campagnes de mesure de mars à septembre 2013 sur la retenue d'Allement dans le cadre de la « Surveillance de la Qualité des Plans d'Eau des Bassins Rhône Méditerranée Corse » par le Groupe de Recherche et d'Etude Biologie et Environnement (GREBE) pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse.

La zone euphotique est la zone aquatique comprise entre la surface et la profondeur maximale d'un plan d'eau, exposée une lumière suffisante afin que la photosynthèse se produise. Cette zone correspond à 2,5 fois la transparence de l'eau mesurée au disque de Secchi. Les résultats oscillent entre un minimum de 2,2 mètres de transparence mesuré en mai 2013 et un maximum de 5,4 mètres de transparence mesuré en mars 2013. La zone euphotique minimale est donc de 5,5 mètres en mai. On peut donc en conclure que cette année-là, l'Élodée de Nuttall a très certainement pu coloniser toutes les zones de la retenue d'Allement inférieures ou égales à 3 mètres de profondeur.

Au niveau de point le plus profond (19 mètres), les sédiments sont composés à 70% de limons fins et/ou d'argiles (fraction <20 µm). On peut supposer que leur composition est quasi-identique à moins de 3 mètres de profondeur, ce qui constitue un substrat privilégié pour l'ancrage des racines superficielles des pieds d'élodées. Le phosphore y est contenu dans des concentrations moyennes de l'ordre de 1252 mg/kg de matière sèche (MS). Il y a aussi présence d'azote en concentrations assez élevées (3830 mg/kg MS) et d'ions ammonium (510 mg/kg MS).

Au sein de la colonne d'eau, le phosphore total et les orthophosphates sont relativement peu élevés, les valeurs les plus fortes relevées en mai 2013 sont respectivement de 0,02 mg/L et 0,03 mg/L. Leur taux descend en dessous du seuil de quantification en juillet de la même année, ce qui pourrait traduire une compétition entre les peuplements macrophytiques du cours d'eau pour leur stockage. Les meilleures capacités d'absorption et de stockage de l'Élodée de Nuttall lui auraient alors conféré un léger avantage compétitif sur les espèces autochtones.

Par ailleurs, les concentrations en nitrate sont élevées toute l'année avec un maximum de 3,2 mg/L en mars 2013 et un minimum de 1,5 mg/L en juillet de la même année, traduisant probablement un prélèvement important par les peuplements d'élodées présents dans le cours d'eau.

Le cuivre est quantifié dans des taux relativement moyens compris entre 0,56-0,74 µg/L et a donc pu, lui aussi, stimuler la croissance des pieds d'élodées.

De plus, l'écologie du peuplement phytoplanctonique en place caractérise la retenue d'Allement comme un milieu mésotrophe, ce qui correspond à l'état trophique habituel des cours d'eau colonisés par l'Élodée de Nuttall.

D'après les témoignages que j'ai pu recueillir, il s'avèrerait que les années de forte prolifération des herbiers d'élodées correspondraient aux années de forte chaleur. En effet, en 2003, l'été caniculaire a probablement été à l'origine du développement d'une très importante quantité d'herbiers d'Élodées de Nuttall. Les périodes de sécheresse entraînent une baisse du niveau d'eau disponible dans chaque retenue, conduisant à une baisse du débit d'étiage opéré par chaque barrage hydro-électrique de la rivière. Le débit étant ralenti, le niveau d'eau est réduit ce qui accentue l'impact des rayons incidents du Soleil sur le plan d'eau et tend à augmenter plus rapidement la température de l'eau.

C'est ce qui a probablement dû se passer en période estivale de l'année 2013. Les résultats indiquent une température de 5°C dans la colonne d'eau dès le mois de mars ce qui concorde avec une reprise de la croissance des tiges d'élodées (reprise à partir de 4°C (Kunii, 1981)). A la fin du mois de juillet, on peut noter que la température de l'eau à 3 mètres de profondeur est légèrement supérieure à 23°C. Ces résultats peuvent expliquer, en partie, l'importante dynamique de croissance des herbiers d'élodées observée cet été-là.

Finalement, de manière générale, les barrages de la rivière d'Ain jouent un rôle bénéfique dans le maintien des peuplements macrophytiques en grand cours d'eau, en particulier pour les Élodées de Nuttall. Par leur rôle de soutien d'étiage, ils assurent un niveau d'eau et un débit minimal en période de saison sèche, permettant le renouvellement, en partie, des eaux stockées dans la retenue, ce qui est bénéfique pour les plantes aquatiques. Par ailleurs, leur rôle d'écrêteurs de crues limite les débits maximaux du cours d'eau qui peuvent être obtenus en période de forte pluie, notamment en saison hivernale, ce qui limite fortement le désenracinement des pieds d'élodées. En réalité, ce sont les sédiments qui s'en trouvent stabilisés et ne sont plus emportés lors des crues hivernales, favorisant le maintien des macrophytes d'une année sur l'autre et permettant la progression des herbiers aquatiques (Codhant et al., 1991).

Tous ces facteurs supposés permettre l'installation et le développement privilégié de l'Élodée de Nuttall au niveau de l'île Chambod conduisent à la formation d'herbiers denses qui sont à l'origine de nombreux impacts avérés et supposés pour le milieu et les usagers de la retenue d'Allement.

2. Impacts avérés et supposés de l'Élodée de Nuttall à Chambod

L'été caniculaire de 2003 correspond à la première vague de prolifération des pieds d'Élodées de Nuttall aux abords de l'île Chambod. En 2011, la surface colonisée par ces plantes est évaluée à 5 hectares, soit environ 2,2 % de la surface totale de la retenue d'Allement. Cet été-là, par exemple, le président du Club des Sports Nautiques de l'Ain déclare qu'il est strictement impossible de mettre à l'eau et de naviguer sur la retenue, tant la plante est présente au niveau des zones de port où la profondeur est inférieure à 3 mètres. Il en est de même pour les zones de baignade face à la plage de l'île qui sont totalement envahies par la plante, c'est pourquoi le SMAE prend la décision d'agir avant que la situation n'entraîne une baisse considérable de l'afflux touristique habituel de la base de loisirs. Ils estiment le coût de faucardage à 14 580 € pour une surface de 5 hectares nécessitant une semaine de gestion courant juin-août, à répéter sur 5 ans. Hors, les résultats escomptés ne sont pas au rendez-vous et la plante refait son apparition plus tôt que prévu.

Les pêcheurs de la retenue d'Allement m'ont affirmé qu'ils constatent une plus importante population piscicole les années où les macrophytes sont bien présents (création de zones de fraie) mais que ceux-ci semblent éviter les herbiers beaucoup trop denses (généralement dans la lône). Cela pourrait s'expliquer par les conditions parfois anoxiques qui s'établissent intra-herbiers et auraient tendance à étouffer les poissons qui s'y aventureraient. Ils constatent aussi que la population de brochets semble avoir considérablement augmenté au fil des années. En effet, le brochet est un prédateur qui se cache au sein de ces herbiers pour tendre des embuscades mais il est aussi reconnu comme un excellent régulateur des populations de poisson fourrage tels que le gardon (Craig, 2008).

On pourrait donc supposer que la quantité de proies disponibles pour le brochet augmente proportionnellement à la taille de sa population, ce qui témoignerait d'un état amélioré des populations piscicoles de la retenue, indirectement lié à la création d'herbiers aquatiques.

Hormis cet impact jugé positif, ils alertent sur le fait que la forme des feuilles de l'Élodée de Nuttall favorise l'accroche d'hameçons et la perte ou l'abandon de lignes de pêches, généralement plombées, qui pourraient être à l'origine de cas de saturnisme animal.

Pour ce qui est de la lône, la situation est plus critique. En effet, le débit de l'eau y est ralenti et la profondeur est moindre ce qui tend à favoriser l'accès à la lumière et les températures élevées propices au développement précoce des pieds d'élodées.

De plus, la création d'herbiers denses d'élodées provoque un nouveau ralentissement du courant qui y circule favorisant la sédimentation intra-herbiers, observable à l'œil nu lorsque l'on effectue des prélèvements de végétaux. La matière organique s'y accumule préférentiellement et on peut supposer que les valeurs en nutriments et micropolluants contenus dans les sédiments au point de plus grande profondeur de la retenue d'Allement sont en deçà de celles contenues dans les sédiments au sein de la lône. Ces teneurs en nutriments et micropolluants supposés plus élevés pourraient favoriser d'autant plus la croissance des pieds d'élodées.

Le constat avéré qui est établi par Frédéric Comtet (Président de l'association Sauvegarde de Chambod) est le suivant : il y a environ 30 ou 40 ans, la profondeur de la lône en bord de berge avoisinait les 1,80 mètres, hors elle ne cesse de s'ensaver année après année à cause de la mauvaise gestion qui en est faite, et ne fait plus qu'environ 1,20 mètres de profondeur à ce jour. Il constate qu'à la fin de chaque été, courant septembre-octobre, la majorité des parties aériennes des herbiers d'élodées meurent et se décomposent au fond de l'eau accélérant d'autant plus le phénomène d'envasement.

3. Mesures à prendre pour améliorer l'état écologique de la retenue d'Allement et assurer sa continuité écologique

Une des premières mesures qui pourrait être mise en place afin de contrôler l'assainissement du bassin versant dans son entier serait de terminer d'équiper tous les villages bordant la rivière d'Ain en systèmes d'épuration des eaux usées. En effet, bien que la population concernée par ce phénomène soit considérée comme peu nombreuse, ayant donc peu d'incidence sur la qualité de l'eau, cela permettrait tout de même de diminuer les rejets d'eaux contenant de fortes concentrations de nutriments et de micropolluants dans le cours d'eau.

Par ailleurs, des concertations avec EDF devraient être entreprises afin d'envisager des solutions permettant d'améliorer la gestion de l'eau qui est faite au niveau de chaque barrage hydro-électrique. Hors période de sécheresse, il faudrait pouvoir relever le débit plancher du cours d'eau afin de limiter les zones de courant trop faible, favorables à l'installation de l'Élodée de Nuttall. Cette augmentation du débit pourra aussi avoir un impact sur la hauteur d'eau et donc sur sa température, qui sera un peu moins élevée en période estivale.

Pour ce qui est de la lône, le constat est simple : il faut absolument que le SMAE trouve des financements afin d'entamer un chantier pour rompre le passage en terre qui obstrue la circulation naturelle du lit principal de l'Ain vers ce bras secondaire. Cela fait de nombreuses années que cette situation est décriée mais pour autant, aucune action n'a été envisagée pour le moment.

Pour ma part, je pense que la reconnexion du lit principal de l'Ain avec ce bras secondaire permettra dans un premier temps une augmentation du débit circulant dans la lône. Cette augmentation de débit pourra avoir diverses conséquences : un meilleur brassage des eaux circulant dans la lône, un meilleur transport des sédiments, une augmentation du niveau de l'eau et une baisse des températures, entre autres. Ces facteurs, censés diminuer l'abondance des macrophytes dans cette partie de la rivière, en particulier de l'Élodée de Nuttall, auront pour rôle principal de ralentir considérablement l'envasement de ce bras secondaire. Cette zone revêt à mes yeux un enjeu écologique majeur car elle offre des habitats très variés pour la faune et la flore, aquatiques et terrestres, et il convient donc de respecter son bon fonctionnement.

Par ailleurs, il s'avère qu'à Chambod, d'une année sur l'autre l'Élodée de Nuttall se comporte comme une plante invasive ou bien comme une plante naturalisée, ne causant aucune gêne. Afin d'expliquer ce phénomène, il faudrait mettre en place un suivi pluriannuel des différents paramètres supposés gouverner son développement, et ce au niveau des zones les plus touchées (zones de port, zones de baignade et dans la lône). Cela permettrait de mieux comprendre les liens de cause à effet qui régissent sa croissance et ainsi pouvoir proposer de nouvelles mesures de gestion pour limiter sa prolifération.

II. Cartographie et plan d'échantillonnage

1. L'imagerie par drone

Au cours de mon étude, je me suis rapidement intéressé aux diverses méthodes existantes permettant de cartographier les herbiers aquatiques afin de mettre en place un suivi des macrophytes à fort développement estival dans cette partie de la rivière d'Ain. J'ai d'abord étudié les méthodes de détection existantes à l'aide de drones aériens par imagerie hyperspectrale. La télédétection par laser ou lidar (light detection and ranging) est une technique de mesure à distance qui est basée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.

Cette méthode peut être employée pour le suivi d'espèces riveraines et aquatiques invasives, entre autres (Lejot et al., 2016 ; Wawrzyniak et al., 2017). Cependant, pour le suivi des macrophytes, cette méthode souffre encore de quelques biais dans l'identification précise des différents types de végétation dominante (Lee et al., 2011). De plus, au cours de la saison estivale, la transparence des eaux varie de manière importante ce qui risque de fortement limiter l'intérêt de cette méthode pour notre étude.

Fort de ces constatations, je me suis tourné vers les drones aquatiques, dotés de caméra subaquatique permettant d'obtenir une observation visuelle directe des communautés végétales présentes au niveau des zones prospectées. J'ai donc pris contact avec Olivier Le Meaux, président de la société CT2MC, au sein de laquelle les drones aquatiques SPYBOAT® ont été imaginés et développés. Je lui ai donc fait une demande de devis concernant le prix d'achat d'un appareil Spyboat Goose équipé d'un GPS, d'un sondeur bathymétrique et d'une caméra permettant l'observation subaquatique. Le montant total TTC de la transaction était de 32 760 € (cf. Annexe n°4), sachant que le SMAE ne possédait un budget que de l'ordre de 5 000 à 10 000 €, il était inenvisageable pour eux d'acquérir un tel appareil à ce coût.

En effet, par rapport à l'utilisation qu'ils en auraient fait, le retour sur investissement n'aurait pas été suffisant c'est pourquoi j'ai proposé aux membres du SMAE de soumettre ce devis au département ou à la région afin qu'il puisse être échangé entre divers acteurs et qu'une utilisation régulière en soit faite afin de rentabiliser son achat.

En attendant une réponse des instances plus haut placées, je me suis tourné vers des méthodes d'échantillonnage plus fastidieuses à mettre en place sur le terrain mais ne nécessitant pas d'importants moyens financiers.

2. Echantillonnage par la méthode des points-contacts

a. Présentation de la méthode

La méthode dite des « points-contacts » est une méthode de prélèvement direct, réalisé en « aveugle ». Cette méthode, adaptée à l'étude des fleuves par le Cemagref dès 1991, est inspirée de celle utilisée depuis longtemps dans les études prairiales (Daget & Poissonet, 1971).

La méthode consiste à effectuer un échantillonnage régulier le long de profils transversaux du lit géoréférencés à l'aide d'un GPS. Un râteau à manche télescopique est nécessaire afin d'atteindre les végétaux jusqu'à un peu plus de 3 mètres de profondeur. A chaque point-contact, on pose la tête du râteau au fond de la rivière et on effectue une rotation d'au moins un tour afin d'arracher les végétaux. Les macrophytes prélevés correspondent à la végétation sur la surface de substrat ratisée ainsi que dans la colonne d'eau. On réalise ainsi 100 à 200 points-contacts à chaque campagne d'observation. Le premier point-contact de chaque profil est placé de manière aléatoire et l'écartement entre deux points-contacts est de 2,5 mètres afin que deux relevés successifs soient jugés indépendants l'un de l'autre (Breugnot, 2007).

A chaque prélèvement, on attribue à chacun des taxons présents dans l'échantillon un indice d'abondance de 1 (espèce très peu présente) à 5 (espèce très présente). En parallèle, un relevé à l'échosondeur permet d'estimer la hauteur des herbiers en place sur chacun des points (Dutartre et al., 1994).

A partir de ces relevés, différentes variables statistiques peuvent être calculées et interprétées, telles que la fréquence des points-contacts colonisés par un taxon donné, qui fournit une première indication sur l'importance d'une espèce considérée au niveau stationnel, et un indice de végétalisation globale par le cumul des points-contacts comportant au moins un taxon (Breugnot, 2007). Il est aussi possible d'estimer des taux de recouvrement en pondérant chaque note d'abondance et en appliquant la formule décrite par Daudin & Dutartre en 2000.

Ce suivi permettra d'étudier les relations de compétition entre l'Élodée de Nuttall et les autres espèces de la communauté végétale présentes aux abords de l'île.

Les campagnes d'échantillonnage devront avoir lieu lorsque le développement des végétaux est important et les débits des cours d'eau moyens à faible, c'est-à-dire depuis la fin du printemps jusqu'à la fin de la période estivale (de mai à septembre).

Cette méthode présente tout de même l'inconvénient d'avoir tendance à sous-estimer des taxons peu ou faiblement abondants sur une station donnée (Bernez, 1999 ; Capers, 2000), bien qu'en moyenne environ 80 % des taxons présents dans une station puissent être observés à l'aide du râteau (Breugnot, 2007). De plus, cette méthode peut s'avérer être légèrement perturbatrice pour le milieu. Premièrement, on peut être amené à arracher des végétaux autochtones peu représentés dans la station d'étude et favoriser encore plus le développement des espèces les plus compétitives, et deuxièmement, la remontée du râteau et des végétaux entraîne une remise en suspension d'une partie du substrat dans la colonne d'eau.

C'est pourquoi le mieux serait de pouvoir effectuer les campagnes d'échantillonnage lorsque la transparence de l'eau est bonne. Faute de pouvoir se doter d'un drone aquatique, et dans l'attente d'un investissement pour se munir d'une simple caméra subaquatique, j'ai réalisé un aquascope (cf. Annexe n°5) permettant de voir sous l'eau jusqu'à quelques mètres de profondeur lorsque les conditions le permettent, afin d'éviter le plus possible les prélèvements dans le milieu.

b. Test de la méthode et interprétation des résultats obtenus

Bien qu'ayant étudié la méthode des points-contacts assez tôt au cours de mon étude, je n'ai pu la mettre en œuvre qu'en partie et qu'une seule fois tout au long de mon stage. En effet, personne n'a été en mesure de me fournir une embarcation pour me rendre sur la rivière, excepté Frédéric Comtet que je n'ai rencontré qu'au cours du mois de Juin.

J'ai donc pu embarquer à bord d'un canoë, muni d'un simple râteau et de mon aquascope, n'ayant pu obtenir entre temps ni de GPS ni d'échosondeur. J'ai donc pu effectuer de nombreuses observations visuelles sur l'ensemble de la lône à l'aide de mon aquascope et une dizaine de points-contacts afin de confirmer mes observations. Comme je pouvais l'imaginer lors de mes précédentes prospections au niveau des berges de l'île, le macrophyte dominant lors de cet été 2017 est *Myriophyllum spicatum*, communément appelé Myriophylle à épis. En termes d'abondance relative, le Myriophylle obtiendrait une note de 5 dans la lône contre une note de 3 pour l'Élodée de Nuttall (1 pour *Nuphar lutea* et *Ceratophyllum demersum*).

En effet, cette espèce autochtone de Myriophylle est très abondante sur la zone étudiée et affleure généralement à la surface. Les échantillons prélevés mesuraient généralement 1 à 2 mètres en longueur tandis que les pieds d'Élodées de Nuttall prélevés restaient cantonnés en profondeur sur les premières dizaines de centimètres au-dessus du substrat.

Au cours de mes investigations et après avoir longuement discuté avec des usagers de l'île, diverses hypothèses semblent pouvoir expliquer cette régression nette de densité des herbiers d'Élodées de Nuttall.

Une première hypothèse serait de supposer que l'Élodée de Nuttall commence à se naturaliser dans son nouveau milieu, comme l'a été l'Élodée du Canada bien avant elle et qui ne pose désormais plus aucun problème majeur sur notre territoire.

Il est possible que les pieds d'Élodées de Nuttall commencent à être reconnus et dévorés par certains herbivores généralistes. Il est aussi envisageable que le manque de brassage génétique entre individus de la même population puisse conduire à une sensibilité plus élevée à certains pathogènes qui réguleraient sa dynamique de croissance et sa densité de population. Cependant au cours de mes prélèvements je n'ai repéré aucun indice de ce genre. Faute d'une étude approfondie, il reste très difficile de conclure sur cette hypothèse.

La deuxième hypothèse, pour laquelle un début d'explication semble envisageable, concerne la gestion de l'eau qui est faite via les barrages hydro-électriques. En 2011-2012, des concertations entre gestionnaires du site de Chambod et EDF aboutissent à un accord sur des lâchers d'eau plus nombreux et plus volumineux en période hivernale, ayant pour impact d'augmenter le débit du cours d'eau et de potentiellement arracher les pieds d'élodées qui se retrouvent par la suite en aval du barrage d'Allement.

Différents gestionnaires avec qui j'ai eu l'occasion de discuter m'ont rapporté le fait que cet hiver 2017, de nombreuses éclusées avec de grands volumes d'eau ont été effectuées au barrage de Cize-Bolozon et d'Allement, ce qui a probablement pu conduire à un désenracinement important des pieds d'élodées et leur transport dans la basse-vallée de l'Ain. En effet, des débits instantanés supérieurs à 200 m³/s ont été mesurés au mois de janvier, février, mai et juin 2017 au niveau de la station de Pont d'Ain, située plusieurs kilomètres en aval du barrage d'Allement. A cette même station des débits moyens journaliers ont été mesurés aux alentours de 500 m³/s au mois de mars 2017 avec des débits instantanés maximum de l'ordre de 604 m³/s (Banque Hydro – eaufrance).

Dès le mois de mars et la reprise de la croissance des pieds d'Élodées de Nuttall, la prise au courant est plus importante et l'on peut aisément supposer qu'une grande quantité de pieds se sont arrachés au cours des mois de mars, de mai et de juin 2017. Dans ce cas pourquoi une telle résistance des pieds de Myriophylle ?

D'après la littérature scientifique, on sait qu'*Elodea nuttallii* possède des racines très superficielles et souvent adventives, tandis que *Myriophyllum spicatum* est capable de reproduction asexuée à l'aide de rhizomes (Aiken et al., 1979), ce qui laisse supposer un système végétal intra-substrat plus résistant que celui des élodées. Lors de mes investigations sur le terrain, j'ai prélevé des pieds d'élodées et de myriophylles à la main afin de ressentir cette notion d'ancrage dans le substrat chez l'une et l'autre de ces deux espèces.

Les tests effectués confirment qu'il est bien plus difficile d'arracher à sa base un pied de myriophylle qu'un pied d'élodée. On peut donc supposer que les forts débits relevés cet hiver, et à la fin printemps - début été, sont à l'origine du désenracinement et du transport d'un nombre important de pieds d'élodées, tandis qu'un plus grand nombre de pieds de myriophylles ont résisté. Les Myriophylles à épis ont donc probablement repris leur croissance plus tôt dans la saison que les pieds d'Élodées de Nuttall qui auraient résisté aux éclusées, ou qui se seraient implantés dans cette zone après avoir été transportés depuis l'amont de la rivière. Une inversion de compétition pour l'accès à la lumière se serait donc produite entre les deux espèces, les pieds de myriophylles ombrageant ceux des élodées, les obligeant à se maintenir en profondeur.

Il serait donc intéressant de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse en faisant des tests de rupture et de désenracinement en laboratoire, à l'aide d'un ADCP (profileur de courant à effet doppler), afin de quantifier les points de rupture des pieds de chacune de ces espèces en fonction du courant et du substrat.

De plus, afin d'être en mesure d'étudier l'impact du courant sur les communautés végétales aux abords de Chambod, il est nécessaire de prendre des mesures régulières de vitesse et de débit du courant au niveau des zones les plus sensibles. Un ADCP pourrait être fixé à une bouée ancrée dans le cours d'eau afin de relever périodiquement les mesures de ces différents paramètres.

Dans le chapitre suivant je vais présenter les différentes méthodes existantes permettant de lutter contre les plantes aquatiques invasives, en particulier l'Élodée de Nuttall, avant de conclure sur les mesures à prendre par rapport aux résultats obtenus lors du plan d'échantillonnage.

III. Méthodes de gestion de l'Élodée de Nuttall

1. Méthodes de gestion existantes

La famille des Hydrocharitacées comprend une centaine d'espèces réparties en une vingtaine de genres (APG, 2009). Bon nombre d'espèces submergées de cette famille se comportent en tant qu'invasives dans les milieux dans lesquelles elles ont été introduites et présentent des mesures de gestion similaires.

a. La lutte physique

La méthode de gestion la plus courante est la lutte physique : elle regroupe les méthodes d'arrachage manuel et mécanique ainsi que le faucardage.

L'arrachage manuel est une méthode idéale pour les herbiers peu développés comprenant une petite population de plantes invasives et dans les zones inaccessibles aux engins mécaniques. Réalisée à la main ou via des plongeurs autonomes (Dutartre & Oyarzabal, 1993), c'est la seule méthode sélective connue à ce jour applicable dans des habitats fragiles. Lorsque la faible profondeur le permet, il est nécessaire de bien arracher l'ensemble de la plante et d'éviter de disperser des fragments. Il convient d'effectuer ces opérations d'arrachage lorsque les conditions de transparence le permettent afin d'être le plus sélectif possible lors des prélèvements. L'inconvénient majeur de cette méthode de gestion reste la durée de l'opération qui peut être considérable ainsi que le coût élevé qui repose sur une main-d'œuvre nombreuse (Fried, 2012).

L'arrachage mécanique est à préconiser lorsque les sites présentent un degré d'envahissement très important sur une plus grande surface. C'est une méthode qui peut s'avérer être plus rentable que l'arrachage manuel, cependant elle est bien moins sélective et peut causer des dommages environnementaux (Fried, 2012). On utilise généralement des engins situés en bord de berge et munis d'une pelle mécanique ou d'une griffe, ou bien un bateau moissonneur qui récupère les fragments de tiges au fur et à mesure qu'il les coupe.

Il est recommandé de respecter un avancement du bateau de 15-20 cm/s, soit 0,5 km/h (Haury et al., 2010), d'effectuer l'arrachage l'après-midi et dans le sens du courant afin d'améliorer les conditions de fuite des populations piscicoles et des alevins présents au sein de ces herbiers (Dutartre et al., 2005).

La dernière méthode de lutte physique est le faucardage, réalisé à l'aide de barres de coupe adaptables sur de petites embarcations ou d'un outil de faucardage manuel. Les coupes d'apex occasionnées lors d'un faucardage diminuent significativement la production de biomasse des végétaux (Kuznetsov & Shevyakova, 1999).

Lorsqu'elle est mise en œuvre à l'aide d'un outil manuel, cette technique peut s'avérer être plus sélective et moins perturbatrice pour le milieu que l'arrachage mécanique.

Cependant, cette technique n'est pas toujours préconisée car elle occasionne généralement une plus importante fragmentation et dispersion des macrophytes en aval de la zone traitée (Haury et al., 2010).

Ces différentes techniques de lutte physique sont à réaliser en dehors des périodes de fructification afin d'éviter toute dispersion de graines, bien que dans le cas de notre étude ce facteur semble être minime du fait du très faible taux de reproduction sexuée des pieds d'élodées.

De manière générale, pour ne pas avoir à effectuer de seconde intervention au cours d'une même année, il est conseillé d'intervenir pendant la période de floraison de la plante, juste avant la production de graines, car les fragments restants n'auront plus assez de ressources pour régénérer de nouvelles tiges (Fried, 2012). Pour les élodées, il est donc conseillé d'intervenir entre le mois de juin et d'août.

Enfin, pour limiter la propagation des pieds d'élodées dans la région, il convient de mettre en place un filet à mailles fines (< 1 cm) en aval de la zone de coupe et sur toute la largeur du cours d'eau afin de récupérer tous les fragments de tiges qui se seraient dispersés lors de l'arrachage (Haury et al., 2010 ; Fried, 2012).

Un double jeu permet le levage du filet colmaté sans perte de boutures et il faut prévoir un dispositif adapté de pose et d'ancrage en fonction de la charge du filet. Il est conseillé d'effectuer ces opérations de coupe lorsque le courant est faible ou nul (Fried, 2012).

b. La lutte chimique

Des expérimentations ou opérations de lutte au moyen d'herbicides ont été tentées en France pour des végétaux aquatiques (Dutartre & Oyarzabal, 1993) mais leurs résultats restent généralement partiels et temporaires avec des impacts importants sur la biodiversité et l'environnement (Muller, 2000). Depuis l'Arrêté interministériel du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime (Legifrance), la lutte chimique n'est plus envisageable en France. Cet arrêté vise à interdire l'utilisation de tous produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et autres supports de culture à moins de 5 mètres minimum de tout point d'eau.

c. La lutte biologique

La lutte biologique consiste à introduire un consommateur (insectes, poissons, gastéropodes, ...) ou un parasite (champignons, bactéries) spécifique de la plante invasive afin de diminuer sa nuisance en affectant sa vigueur, sa capacité de reproduction ou sa densité (Muller, 2000 ; Fried, 2012). En Angleterre, l'une des meilleures options de lutte contre les plantes aquatiques invasives est celle du contrôle biologique par la Carpe de roseau (*Ctenopharyngodon idella*), mais elle peut se révéler invasive elle aussi et nuire aux populations de macrophytes autochtones (Di Nino et al., 2005). L'inconvénient de cette méthode est qu'elle nécessite généralement l'introduction d'un nouvel organisme dans l'environnement et il est primordial d'effectuer de nombreuses recherches au préalable pour s'assurer que seule la plante envahissante sera attaquée, sans risque pour les espèces autochtones (Fried, 2012).

d. La mise en assec du cours d'eau

Barrat-Segretain & Cellot (2007) ont testé cette méthode et affirment que la mise en assec du cours d'eau est inutile car la plante est trop résistante à la dessiccation.

2. Méthodes de gestion à préconiser aux abords de l'île Chambod

Hormis les mesures de contrôle écologique définies en Partie II.I.3., à mettre en œuvre sur le long terme, diverses mesures de gestion peuvent être préconisées annuellement aux abords de l'île Chambod.

Les années de faible prolifération des herbiers d'élodées, comme c'est le cas en 2017, je recommande simplement leur suivi afin de s'assurer qu'ils ne viendront pas perturber les pratiques nautiques des usagers de l'île. De même, tant que les dynamiques de prolifération des espèces autochtones telles que le Myriophylle à épis ne posent aucun problème pour les activités nautiques, il convient de ne pas intervenir. En effet, bien que le temps de séjour des eaux dans la retenue d'Allement soit court (< 2 jours) (GREBE, 2014), il serait potentiellement risqué de détruire une partie des herbiers de Myriophylles à épis car ils possèdent une activité allélopathique inhibitrice de certaines cyanobactéries telles que *Mycrocystis aeruginosa* qui s'avèrent être toxiques pour la santé humaine, entre autres.

De plus, *Myriophyllum spicatum* et *Elodea nuttallii* sont deux excellentes plantes oxygénantes et épuratrices des milieux dans lesquels elles se trouvent.

Ces macrophytes jouent un rôle direct dans l'épuration du fleuve par la consommation des nutriments nécessaires à l'élaboration de leur propre matière vivante. Ils constituent donc un stockage temporaire d'une partie des flux de nutriments (Dutartre et al., 1994). Il n'est donc pas utile d'intervenir dans les zones qui ne posent aucun problème pour les activités humaines ou pour l'écosystème.

En début de saison, il convient de définir des zones d'action prioritaire (ZAP). Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser une bathymétrie complète de la retenue d'Allement afin d'estimer les zones colonisables ou non par les pieds d'élodées (< 3 mètres de profondeur). Cette bathymétrie devra être effectuée en période hivernale car les macrophytes seront encore peu présents et on obtiendra une meilleure estimation de la profondeur. Ensuite, en concertation avec les gestionnaires du milieu, les ZAP pourront être définies précisément et correspondront aux surfaces potentiellement colonisables par l'Élodée de Nuttall et pouvant causer des gênes pour les activités humaines ou porter préjudice à l'environnement. En dehors de ces ZAP, il n'est pas jugé nécessaire d'agir car, la plante étant déjà bien établie dans la région, des fragments d'élodées peuvent régulièrement provenir des barrages en amont et son éradication totale n'est actuellement pas envisageable.

Lorsque les campagnes d'échantillonnage menées de mars à juin au sein des ZAP révèlent une forte dynamique de croissance des macrophytes, en particulier des herbiers d'Élodées de Nuttall, il est nécessaire d'intervenir au bon moment.

De manière générale, on va privilégier le mode de contrôle le plus sélectif possible et le moins perturbateur pour le milieu. C'est pourquoi, lorsque les conditions météorologiques et de transparence le permettent, je recommande les méthodes d'arrachage manuel à mettre en œuvre à bord d'une embarcation et munis d'outils tels que des râtaux, des crocs et des fourches car la profondeur ne permet généralement pas l'arrachage direct à la main. Les racines d'élodées meurent durant le mois de juin et la plante continue ensuite sa croissance sans s'alimenter par le sol, afin d'atteindre un maximum de biomasse en septembre (Fried, 2012). Il est donc recommandé d'intervenir après la mort des racines, c'est-à-dire fin juin, car la repousse sera plus lente et se fera uniquement via les fragments de tige laissés dans l'eau après l'opération.

A l'aide de personnel bien formé, cette méthode s'avère être la plus efficace, même dans des zones fortement envahies mais sur de petites surfaces car elle nécessite beaucoup de main-d'œuvre.

C'est pourquoi je pense qu'il serait primordial d'impliquer les citoyens des communes environnantes dans cette démarche de protection du milieu. Cette gestion manuelle pourrait fonctionner sur un système de bénévolat organisé par le SMAE, ce qui lui permettrait d'économiser des fonds nécessaires aux travaux à entreprendre concernant la lône. En effet, cette solution semble être envisageable. Par exemple, l'association « Sauvegarde de Chambod » compte dans ses rangs près de 300 adhérents, dont une partie serait susceptible de bien vouloir s'impliquer dans des mesures de gestion des plantes invasives.

Lorsque le degré d'envahissement des pieds d'élodées est jugé trop important et sur une grande surface, il peut être nécessaire de faire intervenir un bateau moissonneur à la fin du mois de juin. Pour que cette intervention ne conduise pas à de nouvelles colonisations, comme ce fut le cas dans l'étang de Bostal en Sarre (Thiébaud et al., 2016), il est primordial d'installer un filet en aval de la zone de coupe comme mentionné en Partie II.III.1.a.. Cette mesure de prévention est à prendre quelle que soit la méthode de gestion employée (manuelle ou mécanique). Il est souvent recommandé d'opérer la fermeture systématique des vannes de barrage en amont et en aval de la zone de coupe. Cependant, au vu des relations compliquées entre EDF et les gestionnaires du milieu, il semble peu probable de pouvoir aboutir à un tel accord.

Cette mise en place d'un filet serait déjà une avancée considérable dans la limitation de la propagation des fragments de tige d'élodées car jamais auparavant une telle mesure n'avait été prise, laissant les fragments restants se déverser en aval du barrage d'Allement.

Pour savoir si cette gestion avait eu un impact en aval, j'ai contacté Cyril Cavillon, chargé de mission GEMAPI au sein du Syndicat Basse Vallée de l'Ain. Il m'a confirmé la présence de divers sites avec présence d'élodées, sans que celles-ci n'engendrent de conflits d'usages jugés problématiques. Il convient donc tout de même de limiter le plus possible la dispersion de ces fragments en aval de la zone de coupe.

Après une gestion mécanique, il est nécessaire d'assurer un suivi et une veille du plan d'eau ainsi qu'une finition manuelle une à deux semaines après la fin de l'intervention (Fried, 2012). Une fois de plus, l'implication des citoyens dans cette démarche pourrait s'avérer être essentielle.

Une fois le matériel récolté, il est nécessaire de faire sécher les résidus de gestion loin de l'eau sur un sol sec à l'aide de bâches (pour éviter la lixiviation), car la survie des tiges y est de très courte durée et il n'existe aucun risque d'apparition de forme terrestre (Haury et al., 2010). Il faut aussi assurer un nettoyage minutieux des outils et machines après chaque chantier. Pour ce faire, il est possible, par exemple, de s'équiper sur site d'une pompe à eau portable.

En attendant que des filières de valorisation des MO extraites des hydrophytes envahissantes soient mises au point (compostage, épandage, méthanisation, ...), il convient d'incinérer les résidus de gestion après demande d'autorisation auprès des autorités compétentes, ou bien de les déposer en déchetterie en s'assurant de l'impossibilité de fuite des fragments des contenants (containers, sachets, ...) lors du transport (Haury et al., 2010 ; Fried, 2012). Cette deuxième solution n'est pas recommandée par mes soins car elle conduit généralement à un enfouissement des MO, ne faisant l'objet d'aucun suivi des produits en condition d'enfouissement.

Finalement, afin de limiter l'envasement de la lône et son eutrophisation secondaire, je recommande un arrachage manuel des macrophytes qui y sont présents en fin de période estivale (courant fin septembre).

Ces diverses solutions proposées ne régleront probablement pas d'elles-mêmes le problème qui est posé actuellement par l'Élodée de Nuttall mais permettront de limiter annuellement les impacts causés par la plante dans la région.

La mise en place de mesures de contrôle biologique et écologique devraient être privilégiées car elles seules sont efficaces sur le long terme (Tauber & Baker, 1988 ; Muller, 2000), coïncidant avec une diminution des interventions directes de l'Homme sur le milieu.

Discussion-Conclusion

L'objectif premier de cette étude, essentiellement bibliographique, était de fournir des pistes d'explication concernant la prolifération des herbiers d'*Elodea nuttallii* aux abords de la base de loisirs de l'île Chambod située sur la retenue d'Allement.

Les informations recueillies dans la littérature scientifique suggèrent que les facteurs influençant de manière significative l'installation des peuplements macrophytiques en grand cours d'eau sont la profondeur, la nature des sédiments et les chroniques d'écoulement, à savoir les vitesses et débits du courant maximaux et moyens.

D'après le rapport du GREBE sur le suivi du plan d'eau de la retenue d'Allement en 2013, on sait qu'en moyenne les sédiments sont composés à 70% de limons fins et/ou d'argiles, ce qui constitue un substrat privilégié pour l'ancrage des racines superficielles des pieds d'élodées.

Les valeurs de transparence obtenues au disque de Secchi suggèrent que l'Élodée de Nuttall peut coloniser toutes les zones de la retenue inférieures ou égales à 3 mètres de profondeur, bien que la transparence varie beaucoup de manière intra- et inter-saisonnière.

Pour ce qui est des vitesses et débits du courant, on a pu démontrer que les barrages de la rivière d'Ain jouent un rôle bénéfique dans le maintien des peuplements d'Élodées de Nuttall par leur rôle de soutien d'étiage et d'écrêteurs de crues. Dans un premier temps, ils assurent un débit minimal en période de saison sèche et permettent le renouvellement des eaux stockées dans la retenue, ce qui est nécessaire au bon développement des plantes aquatiques. Dans un second temps, ils limitent les débits maximaux du cours d'eau qui peuvent être obtenus en période de forte pluie, améliorant la stabilité des sédiments et favorisant de ce fait le maintien des pieds d'élodées d'une année sur l'autre. Cependant, les éclusées se surimposent le plus souvent aux écoulements dits « naturels ». Elles se manifestent par des montées rapides et cycliques en période d'exploitation, c'est à dire essentiellement en hiver, qui peuvent être à l'origine du désenracinement et de la fragmentation d'un grand nombre de macrophytes, en particulier des pieds d'élodées, pouvant expliquer, en partie, les différentes dynamiques de croissance observées d'une année sur l'autre.

Ces facteurs jouent un rôle majeur sur le lieu d'installation des peuplements d'élodées aux abords de l'île Chambod mais ne peuvent expliquer son fort pouvoir compétitif par rapport aux plantes indigènes, conduisant à des peuplements denses.

Le facteur principal qui conditionne le développement privilégié d'une espèce exotique dans un milieu est la perte ou l'absence de prédateurs naturels. Généralement, lorsque l'Élodée de Nuttall est introduite dans un nouveau territoire, elle n'est pas, ou très peu, consommée par les herbivores généralistes, ce qui lui permet d'investir plus de ressources énergétiques pour sa croissance, avec des tiges principales plus longues et plus ramifiées augmentant ainsi l'ombrage des espèces sous-jacentes et limitant leur croissance. Sur site, cette explication n'a pas pu être scientifiquement démontrée. Au cours de mes récoltes de pieds d'élodées, je n'ai jamais constaté la moindre trace de consommation par des herbivores ou d'attaque par des pathogènes. Les études de palatabilité d'*Elodea nuttallii* par des herbivores généralistes tels que *Gammarus roeseli* n'ont pas pu aboutir à une consommation assez conséquente pour limiter les proliférations d'élodées. Beaucoup d'études sur le contrôle biologique sont encore à fournir afin d'aboutir un jour à une solution efficace sur le long-terme sans intervention directe de l'Homme dans le milieu.

Concernant les facteurs physico-chimiques susceptibles de favoriser la croissance de l'Élodée de Nuttall, la température de l'eau semble jouer un rôle très important. Les témoignages recueillis confirment que les années de forte prolifération d'élodées correspondent aux années de forte chaleur, comme ce fut le cas en 2013 avec une température de l'eau de 23,7°C fin juillet à 3 mètres de profondeur. Pour ce qui est des concentrations de micropolluants et de nutriments au sein de la retenue d'Allement, il est difficile de conclure étant donné que les prélèvements ont été effectués en 2013 au point de plus grande profondeur du cours d'eau et ne reflètent pas forcément les concentrations réelles contenues, par exemple, dans la lône où les problèmes posés sont les plus importants.

Pour le futur, il serait nécessaire d'effectuer un suivi pluriannuel complet du plan d'eau dans les zones les plus impactées par les peuplements d'élodées afin de conclure sur des liens de cause à effet. Il est donc nécessaire, dans un premier temps, de définir des ZAP en accord avec les gestionnaires, après bathymétrie complète de la retenue d'Allement en période hivernale. Ensuite, il faudrait équiper ces ZAP de sondes de mesure multiparamètres (température, turbidité, pH, oxygène dissous, vitesse d'écoulement et débit du courant) à différentes profondeurs (0,5 mètre, 1,5 mètres et 2,5 mètres) afin d'obtenir des données régulières et enfin pouvoir interpréter de manière rigoureuse les résultats obtenus.

Par ailleurs, des études de résistance à la vitesse et au débit du courant devraient être entreprises en laboratoire concernant l'Élodée de Nuttall afin de quantifier les valeurs conduisant à son déracinement en fonction du substrat sur lequel elle se trouve. En fonction des résultats obtenus, une concertation avec EDF pourrait être entreprise afin d'envisager une augmentation du débit plancher issu de chaque barrage hydro-électrique. Cela conduirait, entre autres, à limiter les zones de courant faible propices au développement des pieds d'élodées.

Les éclusées en période hivernale, dans le but exclusif d'éliminer les herbiers d'élodées pour l'été suivant, ne semblent pas être une très bonne solution. Premièrement, ce phénomène semblable à une crue, peut avoir des impacts négatifs sur l'écosystème s'il est répété trop souvent au cours d'une même saison. Deuxièmement, il participe à la dispersion des fragments d'élodées dans la région en aval du barrage d'Allement. Bien qu'actuellement le Syndicat Basse Vallée de l'Ain ne semble pas souffrir de stations envahies par l'Élodée de Nuttall, il convient de limiter au maximum sa dispersion et d'éviter de reporter le problème chez le voisin, comme il a souvent été question par le passé.

Concernant la lône, il est primordial de reconnecter ce bras secondaire avec le lit principal de l'Ain afin d'en augmenter son débit, permettre une augmentation du niveau de l'eau et donc une baisse de sa température, ainsi qu'un meilleur transport des sédiments et donc un ralentissement de son envasement. C'est au SMAE de trouver des financements permettant de débloquer la situation avant qu'il ne soit trop tard pour intervenir.

Ensuite, l'objectif principal de mon étude était de fournir aux gestionnaires de la base de loisirs un protocole d'échantillonnage facile à mettre en œuvre et répétable dans le temps à l'aide de peu de moyens techniques et financiers afin d'opérer un suivi des peuplements macrophytiques de la retenue d'Allement et ainsi pouvoir proposer des mesures de gestion.

Pour ce faire, la méthode d'échantillonnage par points-contacts a été retenue car elle permet d'obtenir des résultats chiffrés à l'aide de moyens techniques financièrement acceptables par les gestionnaires de la base de loisirs. L'inconvénient majeur de cette technique est le prélèvement potentiel de végétaux autochtones peu représentés sur le site d'étude ainsi que la remise en suspension de substrat lors de ces prélèvements. C'est pourquoi, il est recommandé d'effectuer un maximum d'observations visuelles à l'aide d'un aquascope ou d'une caméra subaquatique afin de perturber le moins possible le milieu aquatique.

Ces campagnes d'échantillonnage sont à répéter en moyenne une fois par mois, de fin mars à fin juin et lorsque le courant est faible, afin d'obtenir des données exploitables à l'interprétation des dynamiques de croissances des macrophytes présents dans les ZAP échantillonnées.

Par rapport aux résultats obtenus lors de ces campagnes d'échantillonnage, j'ai pu proposer divers moyens de gestion, plus ou moins sélectifs et plus ou moins perturbateurs pour le milieu, permettant de limiter la dynamique de croissance et de colonisation des peuplements d'Élodées de Nuttall aux abords de l'île Chambod.

Lors des années de faible prolifération des élodées, comme c'est le cas en 2017, il est simplement recommandé d'effectuer un suivi et une veille saisonnière des herbiers afin de s'assurer qu'ils ne causeront pas de problème pour la saison en cours. De même pour les espèces autochtones, tant qu'elles ne causent pas de problèmes pour les activités humaines, il est conseillé de les laisser se développer car elles jouent un rôle important dans l'épuration du cours d'eau via la consommation des nutriments nécessaires à leur croissance.

Un arrachage manuel est tout de même préconisé en fin de saison estivale (fin septembre) dans les milieux sensibles tels que la lône afin de limiter l'eutrophisation secondaire des eaux ainsi que leur envasement.

Les années de forte prolifération des herbiers d'Élodée de Nuttall, il est nécessaire d'intervenir au sein des ZAP les plus impactées. Lorsque les conditions de transparence le permettent, il est recommandé d'effectuer un arrachage manuel des pieds d'élodées à la fin du mois de juin afin d'être le plus sélectif possible et de limiter la reprise de la plante au cours de la saison estivale. Ce mode de gestion, très efficace lorsque le personnel est bien formé, nécessite une main-d'œuvre importante, c'est pourquoi il est nécessaire d'impliquer des citoyens bénévoles afin de limiter ses coûts de mise en œuvre. Si les conditions de transparence ne permettent pas l'arrachage manuel, ou que le degré d'envahissement et la surface considérée sont trop importants, il est conseillé d'effectuer un arrachage mécanique à l'aide d'un bateau moissonneur qui récupère les fragments de tige au fur et à mesure qu'il les coupe. Cependant, ce mode de gestion est peu sélectif, peut s'avérer onéreux et doit respecter les conditions de fuite des alevins présents au sein de ces herbiers, à savoir un avancement de 0,5 km/h l'après-midi et dans le sens du courant.

Dans tous les cas, la mise en place d'un filet à mailles fines (< 1 cm) et à double jeu doit être effectuée en aval de la zone de coupe afin de limiter la propagation des fragments de tige dans la région.

En attendant que des filières de valorisation de la MO issue des hydrophytes soient développées, il est recommandé d'entreposer les résidus de récolte sur bâches sur sol sec afin de les faire sécher en vue de les incinérer.

Finalement, les points essentiels de cette étude, à savoir les causes et conséquences de l'installation de l'Élodée de Nuttall dans la retenue d'Allement, le plan d'échantillonnage ainsi que les méthodes de gestion préconisées à la suite de celui-ci, seront résumés dans une synthèse vulgarisée à destination des différents usagers et gestionnaires du milieu (SMAE, EDF, associations de protection de la nature, ...). Mon travail permettra donc, je l'espère, qu'un suivi saisonnier et pluriannuel des dynamiques de croissance et de colonisation des herbiers d'Élodées de Nuttall, ou de tout autre macrophyte d'intérêt, soit initié.

En termes de bilan de cette étude, je suis quelque peu déçu du manque d'investissement des pouvoirs publics dans l'aide qu'ils auraient pu m'apporter afin de mener à bien mon protocole d'échantillonnage de manière rigoureuse. Le manque de matériel mis à ma disposition ne m'a pas permis d'effectuer un suivi sur quelques mois des peuplements macrophytiques afin d'obtenir des données chiffrées exploitables pour interprétation. C'est réellement dommage puisque la demande sociale concernant cette étude a été initiée par le SMAE et ils n'ont pas une seule fois pris contact avec moi au cours de ces six mois. Je m'étais pourtant présenté à eux courant mars, leur ayant demandé la possibilité de m'impliquer dans les réunions de discussion concernant la lône, sans suite malgré diverses tentatives.

Concernant le dispositif Boutique des Sciences de l'Université de Lyon, je suis très satisfait d'avoir fait partie de cette promotion 2017 car ses membres m'ont permis, entre autres, de m'ouvrir au champ de la vulgarisation scientifique. Différents moyens de médiation m'ont été proposés au cours de mon étude afin de faire part de mes recherches à un public de tous horizons et j'ai pris énormément de plaisir à partager mes connaissances au plus grand nombre (cf. Annexes n°6).

Pour les années futures, la prévention reste sans aucun doute le meilleur mode de lutte contre les EEE. En premier lieu, il est primordial de continuer à préserver les milieux naturels des perturbations humaines.

Il est nécessaire d'améliorer la qualité de l'eau de l'Ain et de ses bassins versants en diminuant les rejets d'eaux contenant de fortes concentrations de nutriments et de micropolluants.

En parallèle, il est essentiel que l'UE mette en place une évaluation du risque concernant l'introduction de nouvelles espèces sur nos territoires, comme c'est le cas en Australie ou en Nouvelle-Zélande. C'est pourquoi, en 2016, une liste (ouverte) de 37 espèces « préoccupantes pour l'Union » a été adoptée : 23 animaux et 14 végétaux sont interdits d'importation, de culture, de reproduction, de vente ou de remise dans le milieu naturel au sein des états membres. Malheureusement, la législation n'avance pas assez vite et 23 de ces espèces sont déjà présentes en France actuellement ! De plus, j'ai pu constater qu'en jardinerie, l'Égérie dense (*Egeria densa*) est vendue sans qu'aucune mise en garde ne soit prescrite par les vendeurs. Hors, cette Hydrocharitacée est connue pour engendrer des problèmes semblables à ceux causés par l'Élodée de Nuttall, c'est pourquoi je ne trouve pas cela normal qu'elle puisse encore être en vente libre.

Pour conclure cette étude, on peut s'intéresser au chantier d'aménagement hydroélectrique Romanche-Gavet qui consiste à remplacer les 6 centrales hydroélectriques et les 5 barrages actuels de la vallée de la Romanche en une seule centrale hydroélectrique souterraine. Cette centrale sera mieux intégrée au paysage, plus respectueuse de l'environnement mais aussi plus puissante. C'est un très bon exemple de réhabilitation de la continuité écologique et piscicole de la rivière qui pourrait être appliqué dans les cours d'eau très artificialisés comme la rivière d'Ain. La renaturation de son état écologique et des chroniques d'écoulement permettra ainsi de limiter l'invasibilité de ce milieu par les espèces exotiques.

Bibliographie

- Aiken, S. G., Newroth, P. R. & Wile, I. (1979). The biology of Canadian weeds. 34. *Myriophyllum spicatum* L. *Canadian Journal of Plant Science* 59: 201-215.
- Association de Gestion des Espaces Karstiques (AGEK) (2004). Mallette pédagogique « L'eau en pays calcaire: les secrets du milieu souterrain ». Plus d'informations sur: <http://agek.ain.free.fr/spip.php?article21>
- Association pour la Sauvegarde de Chambod [en ligne] (page consultée le 17/05/2017). <https://www.facebook.com/sauvegardechambod1/>
- Barrat-Segretain, M. H. (2001). Invasive species in the Rhône River floodplain (France): replacement of *Elodea canadensis* Michaux by *E. nuttallii* St. John in two former river channels. *Archiv für Hydrobiologie* 152: 237-251.
- Barrat-Segretain, M. H. (2004). Growth of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* in monocultures and mixture under different light and nutrient conditions. *Archiv für Hydrobiologie* 161: 133-144.
- Barrat-Segretain, M. H. (2005). Competition between invasive and indigenous species: impact of spatial pattern and developmental stage. *Plant Ecology* 180: 153-160.
- Barrat-Segretain, M. H. & Cellot, B. (2007). Response of invasive macrophyte species to drawdown: The case of *Elodea* sp. *Aquatic Botany* 87: 255-261.
- Bernez, I. (1999). Végétation macrophytique des cours d'eau régulés - Impacts des aménagements hydro-électriques dans le Massif armoricain. *Thèse de doctorat: Sciences de l'Environnement. E.N.S.A. Rennes*, 127 p. + ann.
- Boutique des Sciences Université de Lyon (2017) [en ligne] (page consultée le 07/12/2016). *Université de Lyon*. <http://boutiquedessciences.universite-lyon.fr/>
- Bowers, M. D. & Stamp, N. E. (1993). Effects of plant age, genotype and herbivory on *Plantago* performance and chemistry. *Ecology* 74: 1778-1791.

- Bowmer, K. H., Jacobs, S. W. L. & Sainty, G. R. (1995). Identification, Biology and Management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae. *Journal of Aquatic Plant Management* 33: 13-19.
- Breugnot, E. (2007). Déterminisme spatio-temporel des peuplements macrophytiques en grands cours d'eau: application à la Garonne et à la Dordogne. *Thèse de doctorat: Sciences du vivant, Géosciences et Sciences de l'Environnement. Université Bordeaux I*, 322 p.
- Capers, R. S. (2000). A comparison of two sampling techniques in the study of submersed macrophyte richness and abundance. *Aquatic Botany* 68: 87-92.
- Codhant, H., Valkman, G., Haury, J. & Dutartre, A. (1991). Les macrophytes aquatiques bioindicateurs de la qualité des eaux courantes - Département de la Lozère. *Rapport interne CEMAGREF-I.N.R.A., Conseil Général. CEMAGREF Bordeaux, I.N.R.A. Rennes, Conseil Général de Lozère*, 146 p.
- Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité (CSPNB) (2012). La biodiversité à travers des exemples, services compris, tome 3. *Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*, 184 p.
- Cook, C. D. K. & Urmi-König, K. (1985). A revision of the genus *Elodea* (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany* 21: 111-156.
- Craig, J. F. (2008). A short review of pike ecology. *Hydrobiologia* 601: 5-16.
- Cronk, Q. C. B. & Fuller, J. L. (2001). Plant invaders: the threat to natural ecosystems. *People and Plants International Conservation, Routledge*, 256 p.
- Daget, P. H. & Poissonet, J. (1971). Méthode d'analyse de la végétation des pâturages. Critères d'application. *Annales Agronomiques* 22: 5-41.
- Daudin, D. & Dutartre, A. (2000). Pourquoi utiliser la méthode des points contacts? *Note interne CEMAGREF, Unité de Recherche Qualité des Eaux*, 5 p.
- Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe (DAISIE) (2009). About DAISIE – About Alien Species [en ligne] (page consultée le 24/02/2017).
<http://www.europe-aliens.org/aboutDAISIE.do#>

- Demierre A. et Perfetta J., 2002. Gestion du faucardage des macrophytes sur les rives genevoises du Léman (Suisse). *Proceedings of the 11 th EWRS International Symposium on aquatic Weeds*, Moliets et Maâ, Septembre 2-6, 345-347.
- Di Nino, F., Thiébaud G. & Muller, S. (2005). Response of *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John to manual harvesting in the North-East of France. *Hydrobiologia* 551: 147-157.
- Dutartre, A. & Oyarzabal, J. (1993). Gestion des plantes aquatiques dans les lacs et les étangs landais. *Hydroécologie Appliquée* 5: 43-60.
- Dutartre, A., Codhant, H. & Mary, N. (1994). Les végétaux aquatiques et le transfert des nutriments dans le fleuve Charente: les macrophytes. *Symposium relations continent – zones côtières*, La Rochelle, Septembre 13-15 1994, 10 p.
- Dutartre, A., Pipet, N. & Bachelier, E. (2005). Suivi de l'impact de la moisson mécanique des plantes aquatiques sur les populations piscicoles. *Synthèses des expérimentations 2002-2003 sur le plan d'eau de Noron (Deux Sèvres)*, 33 p.
- eaufrance – Banque Hydro (2017). V2712010 L'Ain à Pont-d'Ain. Q.J.M. – Débits journaliers et mensuels [en ligne] (page consultée le 22/05/2017). *Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*.
<http://www.hydro.eaufrance.fr/presentation/procedure.php>
- EDF Unité de production Est – GEH Jura Bourgogne (2009). Zoom sur les aménagements hydroélectriques de la vallée de l'Ain [en ligne] (page consultée le 09/03/2017).
http://massif-du-jura.developpement-edf.com/images/edf-1r1t-massif-jura-plaquette_ain.pdf
- Erhard, D. & Gross, E. M. (2006). Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton. *Aquatic Botany* 85: 203-211.
- Erhard, D., Pohnert, G. & Gross, E. M. (2007). Chemical defense in *Elodea nuttallii* reduces feeding and growth of aquatic herbivorous Lepidoptera. *Journal of Chemical Ecology* 33: 1646- 1661.

- Fédération des Conservatoires botaniques nationaux (FCBN) (2012). *Elodea nuttallii* (Planchon) H. St John [en ligne] (page consultée le 09/02/2017). http://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource_telechargeable/fiche_elodea_nuttallii_v2.pdf
- Felzines, J. C. & Bonnot, E. J. (1981). *Elodea nuttallii* St John, espèce nouvelle pour le département de la Nièvre. *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon* 50: 119-122.
- Fried, G. (2012). Guide des plantes invasives. *Belin*, 264 p.
- Geissert, F., Simon, M. & Wolff, P. (1985). Investigations floristiques et faunistiques dans le nord de l'Alsace et quelques secteurs limitrophes. *Bulletin de l'Association Philomatique d'Alsace et de Lorraine* 21: 111-127.
- Géoportail (2017). Le portail national de la connaissance du territoire mis en œuvre par l'IGN [en ligne] (page consultée le 04/05/2017). <https://www.geoportail.gouv.fr/>
- Greulich, S., & Trémolières, M. (2006). Present distribution of the genus *Elodea* in the Alsatian Upper Rhine floodplain (France) with a special focus on the expansion of *Elodea nuttallii* St. John during recent decades. *Macrophytes in Aquatic Ecosystems: From Biology to Management. Springer Netherlands*, 249-255.
- Groupe de Recherche et d'Etude Biologie et Environnement (GREBE) eau – sol – environnement (2014). Surveillance de la Qualité des Plans d'Eau des Bassins Rhône Méditerranée Corse – Suivi 2013 – Rapport de données et d'interprétation RETENUE d'ALLEMENT (Ain) [en ligne] (page consultée le 25/04/2017). *Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse*. http://sierm.eaurmc.fr/surveillance/plans-eau/rapports-donnees-brutes/rapport_allement_2013.pdf
- Haury, J. & Bagliniere, J. L. (1996). Les macrophytes, facteur structurant de l'habitat piscicole en rivière à salmonidae: étude de microrépartition sur un secteur végétalisé du Scorff (Bretagne-sud). *Cybium* 20: 111-127.

- Haury, J., Hudin, S., Matrat, R., Anras, L. et al. (2010). Manuel de gestion des plantes exotiques envahissant les milieux aquatiques et les berges du bassin Loire-Bretagne. *Fédération des conservatoires d'espaces naturels*, 136 p.
- Jeschke, J. M. & Strayer, D. L. (2005). Invasion success of vertebrates in Europe and North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 7198-7202.
- Kaenel, B. R., Matthaei, C. D. & Uehlinger, U. R. S. (1998). Disturbance by aquatic plant management in streams: effects on benthic invertebrates. *Regulated Rivers: research & management* 14: 341-356.
- Kunii, H. (1981). Characteristics of the winter growth of detached *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John in Japan. *Aquatic Botany* 11: 57-66.
- Kunii, H. (1984). Seasonal growth and profile structure development of *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John in pond Ojaga-Ike, Japan. *Aquatic botany* 18: 239-247.
- Kuznetsov, V. V. & Shevyakova, N. I. (1999). Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. *Russian Journal of Plant Physiology* 46: 274-287.
- Lee, B. S., McGwire, K. C. & Fritsen, C. H. (2011). Identification and quantification of aquatic vegetation with hyperspectral remote sensing in western Nevada rivers, USA. *International journal of remote sensing* 32: 9093-9117.
- Legifrance, le service public de la diffusion du droit (2017). Arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime [en ligne] (page consultée le 03/04/2017). *Secrétariat général du gouvernement*. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000425570>
- Lejot, J., Wawrzyniak, V., Piegay, H. & Michel, K. (2016). Caractérisation des méso-habitats fluviaux par imagerie drone. *La Houille Blanche* 2: 38-40.
- Mériaux, J. L. (1979). *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John, espèce nouvelle pour le Nord de la France. *Bulletin de la Société Botanique du Nord de la France* 32: 30-32.
- Muller, S. (2000). Les espèces végétales invasives en France: bilan des connaissances et propositions d'actions. *La Terre et la Vie - Revue d'Écologie* 7: 53-69.

- Muller, S. (2004). Plantes invasives en France: état des connaissances et propositions d'actions. *Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris. *Collection patrimoines naturels*, 176 p.
- Muller, S. & Thiébaud, G. (2004). Espèces invasives avérées: *Elodea canadensis*, *E. nuttallii*, *E. callitrichoides* (élodées). In Muller, S. (2004). Plantes invasives en France: état des connaissances et propositions d'actions. *Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris. *Collection Patrimoines naturels*, 60-63.
- Naturama, la nature et ses acteurs. A la découverte de l'île Chambod [en ligne] (page consultée le 01/03/2017). *Empreinte Conseil*.
<https://www.ile-chambod.com/pdf/Chambod.pdf>
- Ozimek, T., Van Donk, E. & Gulati, R. D. (1993). Growth and nutrient uptake by two species of *Elodea* in experimental conditions and their role in nutrient accumulation in a macrophyte-dominated lake. *Hydrobiologia* 251: 13-18.
- Pieret, N., Delbart, E. & Mahy, G. (2007). Guide de reconnaissance des principales plantes invasives le long des cours d'eau et plans d'eau en Région wallonne. *Ministère de la Région wallonne*.
- Robach, F., Merlin, S., Rolland, T. & Tremolière, M. (1996). Assimilation et stockage du phosphore par des macrophytes aquatiques bioindicateurs du niveau trophique de l'eau. *Ecologie* 27: 203-214.
- Rolland, T., Robach, F., Tremolieres, M. & Dester, S. (1995). L'Activité Nitrate Réductase chez les plantes aquatiques: un outil biologique du suivi de la contamination ammoniacale. *Marqueurs biologiques de Pollution*, Septembre 21-22 1995, Chinon, 189-199.
- Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE) (mise à jour en 2012). Fiche cours d'eau – L'Ain (V2--0200) [en ligne] (page consultée le 07/03/2017).
http://services.sandre.eaufrance.fr/Courdo/Fiche/client/fiche_courdo.php?CdSandre=V2--0200
- Simpson, D. A. (1984). A short history of the introduction and spread of *Elodea* Michx. in the British Isles. *Watsonia* 15: 1-9.

- Spyboat® Drone Aquatique (2016). Goose [en ligne] (page consultée le 10/04/2017). *CT2MC Composite materials*.
<http://www.spyboat-technologies.com/ftp/telechargements/161109spyboat-goose-sge001fiche-technique.pdf>
- Syndicat Basse Vallée de l'Ain [en ligne] (page consultée le 22/03/2017).
<http://www.bassevalleedelain.com/index.php>
- Syndicat Mixte pour l'Aménagement et l'Équipement de l'île Chambod (SMAE). Base de loisirs Chambod-Merpuis [en ligne] (page consultée le 06/02/2017). *Ainsitenet*.
<https://www.ile-chambod.com/>
- Tauber, M. J. & Baker, R. (1988). Every other alternative but biological control. *BioScience* 38: 660-660.
- Terrin, E. (2011). Les espèces végétales exotiques envahissantes dans l'Ain: fiches de synthèse par espèce [en ligne] (page consultée le 09/02/2017). *Conservatoire Botanique National Alpin (CBNA)*, 66-69.
http://www.cbn-alpin-biblio.fr/GED_CBNA/193450291163/BB_22355.PDF
- Teyssède, A. (2004). Vers une sixième grande crise d'extinctions. Biodiversité et changements globaux: enjeux de société et défis pour la recherche. *Ministère des Affaires Étrangères-ADPF*, Paris, 24-36.
- The Angiosperm Phylogeny Group (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society* 161: 105-121.
- Thiébaud, G., Rolland T., Robach F., Tremolières M. & Muller S. (1997). Quelques conséquences de l'introduction de deux espèces de macrophytes, *Elodea canadensis* Michaux et *Elodea nuttallii* St. John, dans les écosystèmes aquatiques continentaux: exemple de la plaine d'Alsace et des Vosges du Nord (Nord-Est de la France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 344/345: 441-452.
- Thiébaud, G. (2005). Does competition for phosphate supply explain the invasion pattern of *Elodea* species? *Water research* 39: 3385-3393.

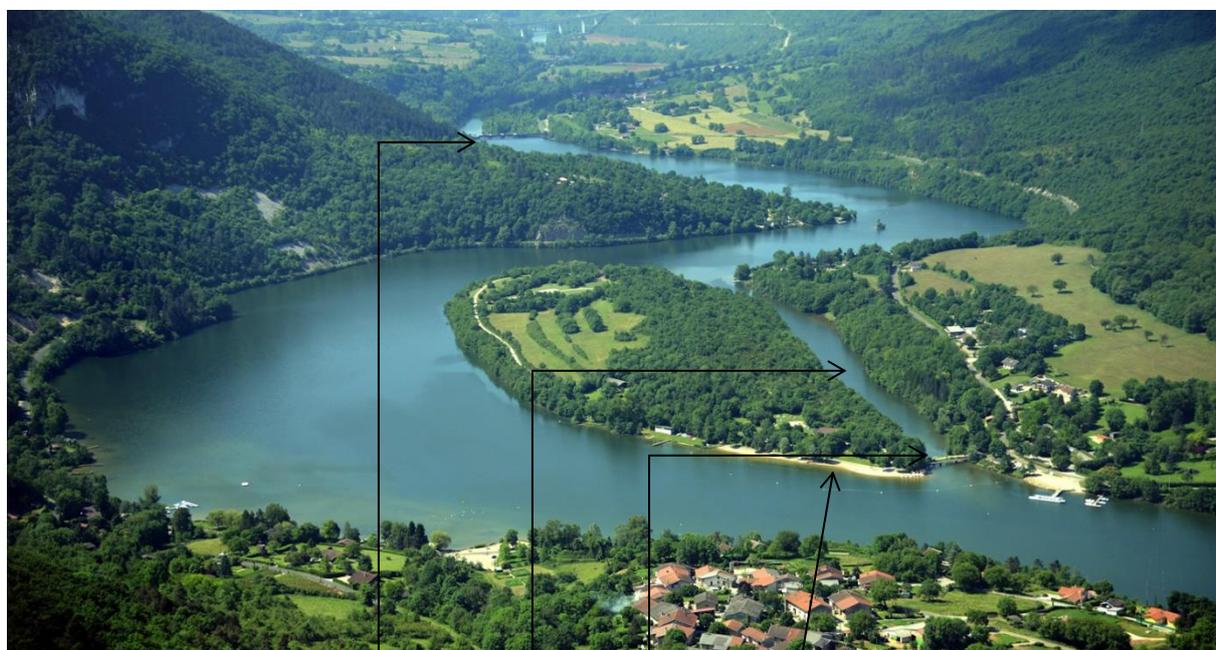
- Thiébaud G. & Di Nino F., 2009. Morphological variations of natural populations of an aquatic macrophyte *Elodea nuttallii* in their native and in their introduced ranges. *Aquatic invasions* 4: 311-320
- Thiébaud, G., Dutartre, A. & Peltre, M. C. (2016). *Elodea nuttallii* [en ligne] (page consultée le 15/02/2017). *Groupe de Travail National Invasions Biologiques en Milieux Aquatiques (GT-IBMA)*.
<https://www.gt-ibma.eu/espece/elodea-nuttalii/?print-products=print>
- Union Internationale de Conservation de la Nature (UICN) Comité français (2016). Programme Espèces [en ligne] (page consultée le 07/02/2017).
<http://uicn.fr/especes/>
- Walther et al. (2009). Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in ecology & evolution* 24: 686-693.
- Wang, Q., Li, Z., Cheng, S. & Wu, Z. (2010). Effects of humic acids on phytoextraction of Cu and Cd from sediment by *Elodea nuttallii*. *Chemosphere* 78: 604-608.
- Wawrzyniak, V., Allemand, P., Bailly, S., Lejot, J. & Piégay, H. (2017). Coupling LiDAR and thermal imagery to model the effects of riparian vegetation shade and groundwater inputs on summer river temperature. *Science of The Total Environment* 592: 616-626.
- Williamson, M. (1996). Biological invasions. *Chapman & Hall*, London.
- Wolff, P. (1980). Die Hydrilleae (Hydrocharitaceae) in Europa. *Göttinger floristische Rundbriefe* 14: 33-56.

Annexes

Annexe n°1 : L'île Chambod



Source : Google Earth



Source : ile-chambod.com

Barrage d'Allement

Lône

Passage en terre

Zone de baignade

Annexe n°2 : L'Élodée de Nuttall



Source : Alexandre Lainé

Annexe n°3 : Herbiers denses d'Élodées de Nuttall



Prolifération des herbiers d'Élodées de Nuttall à Serrières-sur-Ain (à 3 km en amont de l'île Chambod en Septembre 2010).

Source : ain.naturalistes.free.fr

Annexe n°4 : Devis drone aquatique SpyBoat Goose



Devis
D1705-00046
06/05/2017

Adresse de facturation

M. Alexandre LAINE
France

Dossier 17304 - SPYBOAT GOOSE SUBAQUATIQUE ET BATHYMETRIE

Désignation	Prix unit €HT	Qté	Prix total €HT	%TVA
SPYBOAT GOOSE bathymétrie monofaisceau Contenu du produit : SPYBOAT GOOSE SGE001 intégrant un GPS GNSS Trimble MB-One précision 60 cm avec une efficacité de 95%, un sondeur bathymétrique Tritech PA500 de 0.3 à 50m et d'une caméra permettant l'observation subaquatique, Mallette BEAVER, Sac de portage pour mallette, Chariot de transport, Garantie pièces et mains d'œuvres 2 ans (1ère visite annuel sur site).	24 600,00	1	24 600,00	20
Forfait formation SPYBOAT Programme sur 3 jours : - 1 jour de formation théorique - 1,5 jours sur le terrain (lac, rivière, retenu), - 0,5 jour d'exploitation des données acquises.	2 700,00	1	2 700,00	20
NOTA : coût hors frais de transport et d'hébergement				

Conditions de paiement

Echéanciers : 16 380,00 € à la commande par virement, 16 380,00 € à réception par virement

Coordonnées bancaires

Montant total lignes HT	27 300,00 €
Montant de la TVA à : 20%	5 460,00 €
Montant total TTC	32 760,00 €

Annexe n°5 : Aquascope



Source : Alexandre Lainé

Annexe n°6 : Vulgarisation scientifique

Carnet de bord : à la fin de chaque mois d'étude il nous était demandé de rédiger un court article de vulgarisation pour la Boutique des Sciences, afin de raconter le quotidien de nos stages, le déroulement de la recherche, les difficultés rencontrées ou au contraire les bonnes surprises, etc...

Ces billets mensuels peuvent être retrouvés à l'adresse suivante : <http://boutiquedessciences.universite-lyon.fr/stages/compilation-des-donnees-et-mise-en-place-d-une-recherche-ciblee-sur-les-plantes-invasives-dans-la-basse-vallee-de-l-ain-341068.kjsp?RH=bdsstages>

Tournage vidéo : au cours de mon stage, la Boutique des Sciences m'a mis en contact avec le studio « Les FasCinés Production » afin de réaliser une courte vidéo de 2-3 mn présentant mon étude dans ses grandes lignes. Le lien menant à cette vidéo est le suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=axfG4FRdPac>

Synthèse vulgarisée et restitution orale : afin de laisser une trace de ma recherche auprès de la société civile et de fournir des réponses aux questions soulevées par la demande sociale constituant le sujet de mon stage, il m'est demandé de rédiger un rapport de vulgarisation scientifique. Ce rapport devra comprendre le contexte et les objectifs de ma mission, la méthodologie utilisée et les résultats obtenus, et principalement les préconisations à apporter aux gestionnaires du milieu afin d'améliorer la situation future du site d'étude.

Par ailleurs, je vais animer prochainement une conférence afin de présenter les résultats de ma recherche aux acteurs directement concernés par mon étude. J'espère ainsi pouvoir amorcer un dialogue entre les différents gestionnaires et décisionnaires de la base de loisirs et de l'île.

Posters de vulgarisation scientifique : j'ai réalisé 3 posters format A1 lors de mon stage afin de participer à des événements au cours desquels mon objectif était de sensibiliser un maximum de personnes au sujet des espèces exotiques envahissantes, ainsi que de présenter plus en détail mes deux sujets d'étude : l'Élodée de Nuttall et la Renouée du Japon.

J'ai ainsi pu participer à la Randonnée du Val de Buenc organisée par l'AGEK le 11 Juin (regroupant bon nombre d'utilisateurs réguliers de l'île), et au Festival Pop'Sciences (tous publics) organisé à Lyon le 15 & 16 Juin par la Direction Culture, Sciences et Société de l'Université de Lyon.

Le 29 Septembre prochain je vais participer à la Nuit des Chercheurs 2017 au Rize à Villeurbanne.

Aperçu des posters :

LES ESPÈCES EXOTIQUES ENVAHISSANTES UNE IMPORTANTE MENACE POUR LA BIODIVERSITÉ

LE TAUX D'EXTINCTION DES ESPÈCES

Sur de grands échelles de temps, les espèces apparaissent et disparaissent. Les données paléontologiques indiquent pour chacune d'entre elles une durée d'existence moyenne comprise entre six et dix millions d'années. On estime que le taux d'extinction moyen au cours des 65 derniers millions d'années était de l'ordre d'une espèce éteinte par an sur 1 million d'espèces. Hors, depuis 100 000 ans et coïncidant avec la croissance du nombre et de la répartition des Hommes sur Terre, ce taux serait au moins 100 fois supérieur à ce taux étalé.

LES 5 GRANDES CAUSES DE L'ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ

L'extinction d'une espèce peut également être due à l'extinction d'une ou plusieurs espèces dont elles dépendent, on appelle ce phénomène la **coextinction**. Ce phénomène peut être illustré par l'exemple du Lynx boréal qui s'est spécialisé sur la prédation du Lièvre de garrigue, et est aujourd'hui en danger critique d'extinction à cause de la chute des effectifs de sa proie.

Ces facteurs agissent soit séparément, soit de manière combinée, agissant sur le taux d'extinction.

BILAN NIVEAU MONDIAL

D'après l'Union Internationale de Conservation de la Nature (UICN), en 2016, 28% des taxons de espèces introduites dans le monde, le taux d'impact est évalué à 28%.

BILAN NIVEAU NATIONAL

La France figure parmi les 10 pays indiquant le plus grand nombre d'espèces introduites au monde. Sur 100 espèces introduites au niveau mondial sont présentes sur notre territoire, en moyenne et par pays.

BILAN NIVEAU OUTRE-MER

En France-Mer, plus d'1/3 des espèces introduites de la Réunion sont menacées de disparition. Les trois régions les plus touchées en Guadeloupe. Les trois régions les moins touchées de la Réunion sont Mayotte.

25%

28% impact

13%

28% impact

9%

28% impact

32%

28% impact

23%

28% impact

14%

28% impact

21%

28% impact

33%

28% impact

30%

28% impact

LES PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES EN FRANCE

La France métropolitaine comprend plus de 6 000 espèces végétales, qui se répartissent approximativement en 4 900 espèces indigènes et au moins 1 300 espèces exotiques introduites par l'Homme, de manière volontaire ou involontaire, pour diverses autres raisons.

LA RÈGLE DES 10% DE WILLIAMSON

En 1949, le biologiste américain Mark Williamson a défini la règle dite « 10% de Williamson » qui établit un lien entre le nombre d'espèces introduites et le nombre d'espèces établies.

1000 espèces importées → 100 espèces introduites → 10 espèces établies → 1 espèce invasive

D'après cette règle, 90% des espèces importées ne survivent pas à leur nouvel habitat, elles ne sont pas adaptées aux conditions environnementales du pays d'accueil.

Les 10% d'espèces restantes parviennent à s'introduire dans leur nouvel environnement, mais ne parviennent pas à maintenir une population viable, principalement à cause du nombre trop faible d'individus introduits.

Seulement 10% des espèces introduites parvient à se reproduire de façon autonome et à maintenir sa population à l'équilibre, sans intervention humaine.

Parmi ces espèces, seules 10% vont devenir envahissantes par leur capacité à étendre rapidement leur aire de répartition dans le territoire où elles se sont introduites. Leurs populations de base engendrent des impacts environnementaux, économiques et parfois sanitaires, jusqu'à la réduction locale de la biodiversité et une modification des paysages, la modification de l'habitat, etc.

LES ÉCHANGES INTERNATIONAUX : FACTEURS DE TRANSPORT D'ESPÈCES

Facilités par la mondialisation, les échanges internationaux de personnes, sur l'ensemble du globe, favorisent tous les types d'organismes (animaux, plantes, champignons, bactéries, etc.). En effet, les échanges de marchandises à l'échelle mondiale favorisent l'introduction de nouveaux organismes exotiques, accidentellement (casiers de chaussures, portes d'avions, etc.), de plantes, etc. Tous ces échanges favorisent l'introduction d'espèces exotiques.

LE PROGRAMME EUROPÉEN DAISIE (DELIVERING ALIEN INVASIVE SPECIES INVENTORIES FOR EUROPE)

En 2002, le programme DAISIE, basé de données européennes sur les invasions biologiques, a été lancé par l'Union européenne. Depuis, 19 invertébrés, 16 plantes et 1 mammifère ont volontairement introduits dans certains pays européens.

En 2015, la base DAISIE comprend 12 122 espèces exotiques présentes en Europe.

CONCLUSION

Malheureusement, faute d'une véritable stratégie de lutte préventive, beaucoup d'autres espèces continuent à être introduites, sans qu'il y ait de véritable réflexion sur le rapport coût/bénéfice de leur importation ou qu'un système d'observation permette leur détection précoce et une réponse adaptée sur le terrain.

L'Elodée de Nuttall

Elodea nuttallii (Planchon) H. St John

ORIGINE ET RÉPARTITION

Originaire d'Amérique du Nord, l'Elodée de Nuttall a été trouvée en Europe pour la première fois en 1939 en Belgique. Sa première apparition en France est mentionnée dans les années 1950 dans la région Alsace. Elle colonise actuellement les vallées de la Loire et du Rhône et est très présente en Europe de l'Ouest (Suisse, Belgique, Allemagne, Danemark) et du Nord (Suède, Irlande).

Photo de l'Elodée de Nuttall sur la frontière nationale en 2009

BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE

L'Elodée de Nuttall est une plante dioïque (un pied porte des fleurs mâles et un autre des fleurs femelles) à **floraison estivale** (juin-septembre) et **pollinisation anémophile-hydrophile** (via le vent et l'eau).

Reproduction asexuée
Principal mode de reproduction de la plante > les tiges cassantes possèdent de très bonnes capacités de bouturage.

Reproduction sexuée
Mode de reproduction très rare en Europe car les fleurs mâles y sont très peu fréquentes.

HABITATS

Préfèrent les courants faibles, elle se développe en eaux calmes, voire stagnantes. Les milieux colonisés sont formés de substrats fins (sables fins, limons, argiles) et peuvent atteindre jusqu'à 3 mètres de profondeur. La plante semble préférer les **eaux chaudes** (<25°C) alcalines (pH>7) fortement minéralisées (riches en éléments nutritifs).

MODE DE PROPAGATION

La dissémination de la plante s'effectue par les courants d'eau ou par les oiseaux qui peuvent transporter des fragments de tiges. Cette dissémination sur longue distance peut aussi être favorisée par les **crues** et les **activités humaines** (bâches de bateaux, rejets d'aquarium...).

IMPACTS

- Sur la structure des communautés végétales en place...
Pouvoir compétitif de l'Elodée de Nuttall >> Pouvoir des plantes indigènes → Formation de peuplements denses d'élodées → Diminution de l'intensité lumineuse disponible pour les espèces végétales sous-jacentes → Diminution de la diversité floristique → Perte de diversité biologique
- Sur le fonctionnement des écosystèmes...
Peuplements denses → Augmentation de la sédimentation de la matière organique provenant des pieds d'élodées morts → Accélération de l'eutrophisation des eaux et de l'envasement du plan d'eau → Phénomène d'anoxie (O₂ faible) pouvant conduire à la mort d'individus de nombreuses espèces aquatiques

MÉTHODES DE GESTION DE L'ÉLODÉE DE NUTTALL

Arrachage manuel	Arrachage mécanique	Lutte chimique	Lutte biologique
Mode de gestion temporairement efficace mais très sélectif, ce type de gestion ne peut être envisagé que sur des cours d'eau de petites surfaces et de faible profondeur.	Mode de gestion efficace dans les cours d'eau profond et très colonisés, mais peu sélectif (espèces animales et végétales perturbées). → méthode du faucardage	Utilisation interdite de produits phytosanitaires à moins de 5 mètres des bordures de tout point d'eau depuis l'arrêté ministériel du 12 septembre 2006.	L'herbivorie par des gastéropodes peut être utilisée en complément d'autres techniques de contrôle pour limiter la biomasse des plantes envahissantes.

La Renouée du Japon

Reynoutria japonica Hoult.

ORIGINE ET REPARTITION

Originaire d'Asie orientale, la Renouée du Japon a été introduite en Europe en 1825 en tant que plante ornementale, fourragère et mellifère. En France, elle fut observée pour la première fois en 1939. Aujourd'hui, l'espèce s'est répandue dans une majeure partie de l'Europe.



Présence de la Renouée du Japon sur le territoire national en 2014



BIOLOGIE ET ÉCOLOGIE

Plante gynodioïque (un pied porte soit des fleurs femelles, soit des fleurs hermaphrodites) à floraison automnale (août-octobre) et pollinisation entomophile (via les insectes).



Reproduction sexuée

En Europe, les individus présents sont des pieds à fleurs femelles ou des pieds à fleurs mâles stériles (fleurs hermaphrodites incapables de produire du pollen), ce qui rend impossible ce mode de reproduction. L'hybridation avec le pollen de la Renouée de Sakhaline est possible et donne naissance à la Renouée de Bohême.

Reproduction asexuée

La multiplication végétative est le principal mode de reproduction de la plante. Le bouturage des fragments de tiges cassées ainsi que les rhizomes (tiges souterraines) sont à l'origine de la croissance de nouveaux clones de la plante.

MODE DE PROPAGATION

L'Homme, lors de travaux de génie civil et rural (déplacement et transport de terres contaminées par la plante).

Les cours d'eau (facilité par l'érosion de berges)

Les animaux (transport de graines ou de fragments de tige)

Les graines (rare)

HABITATS

- Le long des cours d'eau (sol humide et riche en substances nutritives)
- Sols acides (3 < pH < 8), ensoleillés à mi-ombragés
- Milieux perturbés et dégradés (talus, bords de route, voies ferrées...)



IMPACTS sur la structure des communautés végétales en place...

Pouvoir compétitif Renouée du Japon → Pouvoir compétitif des plantes indigènes → Formation de peuplement denses de Renouées → Diminution de la diversité floristique du site envahi → Diminution de la richesse spécifique (nombre d'espèces différentes) des herbivores (insectes en majorité) → Dégradation de la qualité de l'habitat des amphibiens par manque de ressources disponibles

MÉTHODES DE GESTION

Arrachage mécanique	Arrachage manuel	Lutte chimique	Gestion complémentaire
Mode de gestion non sélectif (perturbation du milieu) adapté aux grandes surfaces colonisées, mais risque de dispersion lors du transport > méthode du criblage concassage	Mode de gestion sélectif et non polluant, efficace à long terme (2-3 ans) sur de petites surfaces. Extractions répétées des parties aériennes et souterraines de la plante à l'aide d'une bêche	Traitement à base de glyphosate, non sélectif et pouvant entraîner des risques pour la santé humaine. Utilisation interdite de tout produit phytosanitaire à moins de 5 mètres des bordures de tout point d'eau	Pâturage par des chèvres Bâchage des sols (fibre géotextile) pour empêcher la photosynthèse couplé à la plantation d'espèces indigènes à croissance rapide





Afin de proposer une activité sur mon stand en lien avec mon sujet, j'ai créé un petit jeu qui consiste à retrouver les voies d'introduction et les impacts à l'écosystème causés par chacune des espèces envahissantes de la région Rhône-Alpes.



JUSSIEU À GRANDES FLEURS (*LUDWIGIA GRANDIFLORA*) (ORIGINE AMÉRIQUE DU SUD)

INTRODUCTION INVOLONTAIRE VIA L'EAU CONTENUE DANS LES BALLASTS DES BATEAUX

GENÈ POUR LES ACTIVITÉS HUMAINES ET DIMINUTION DE LA LUMINOSITÉ DISPONIBLE POUR LES PLANTES INDIGÈNES



BUDDEILIA DE DAVID (*BUDDEILIA DAVIDII*) (ORIGINE CHINE)

IMPORTATION VOLONTAIRE EN TANT QUE PLANTE ORNEMENTALE EN RAISON DE SON ATTRAIT POUR LES PAPILLONS

FAVORISE L'ÉROSION DES BERGES ET BLOQUE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DES PLANTES INDIGÈNES



ELODÉE DU CANADA (*ELODEA CANADENSIS*) (AMÉRIQUE DU NORD)

IMPORTATION VOLONTAIRE EN TANT QUE PLANTE ORNEMENTALE POUR LES BASSINS ET LES AQUARIUMS

GENÈ POUR LES ACTIVITÉS HUMAINES ET DIMINUTION DE LA LUMINOSITÉ DISPONIBLE POUR LES PLANTES INDIGÈNES



PYRALE DU BUIS (*CYDALIMA PERSPECTALIS*) (ORIGINE EXTRÊME-ORIENT RUSSIE ET ASIE ORIENTALE)

INTRODUCTION ACCIDENTELLE VIA LE COMMERCE DES PLANTES (PÉPINIÈRES, JARDINERIES, FLEURISTES)

CHENILLE RESPONSABLE DE DÉGÂTS IMPORTANTS SUR LES BUIS DES JARDINS ET DES FORÊTS



HERBE-DE-LA-PAMPA (*CORTADERIA SELLOANA*) (ORIGINE AMÉRIQUE DU SUD)

INTRODUCTION VOLONTAIRE EN TANT QUE GRAMINÉE ORNEMENTALE, PLANTE DE PÂTURAGE ET POUR STABILISER LES SOLS

FEUILLES TRÈS COUPANTES POUR L'HOMME ET LE BÉTAIL ET AUGMENTATION DES RISQUES D'INCENDIE



MOULE ZÉBRÉE (*DREISSENA POLYMORPHA*) (ORIGINE ASIE OCCIDENTALE : BASSIN DE LA MER CASPIENNE)

INTRODUCTION INVOLONTAIRE VIA L'EAU CONTENUE DANS LES BALLASTS DES BATEAUX ET EN SE FIXANT SUR LEUR COQUE

VECTEUR DE PARASITES ET CONCURRENCE LES ESPÈCES DE MOULES AUTOCHTONES



ÉCREVISSE DE LOUISIANE (*PROCAMBARUS CLARKII*) (ORIGINE MEXIQUE ET SUD-EST DES ÉTATS-UNIS)

INTRODUCTION VOLONTAIRE À DES FINS COMMERCIALES

ESPÈCE PORTEUSE Saine D'UN CHAMPIGNON (*APHANOMYCES ASTACI*) QUI DÉCIME LES ÉCREVISSES INDIGÈNES



FRELON ASIATIQUE (*VESPA VELUTINA*)

INTRODUCTION INVOLONTAIRE PROBABLE PAR IMPORTATION DE POTERIES CHINOISES

ATTAQUE LES COLONIES D'ABEILLES OUVRIÈRES AUTOCHTONES

Annexe n°7 : La Renouée du Japon

Au cours du mois de Mars, des particuliers ont fait remonté à l'AGEK la présence d'un site à Renouées du Japon (*Reynoutria japonica*) au niveau de la reculée de la Balme, à Corveissiat (site dont l'AGEK est, en partie, gestionnaire). Je me suis donc attelé à poursuivre la même démarche scientifique que pour l'Élodée de Nuttall afin d'envisager, in fine, les moyens de gestion les plus propices à appliquer sur site en fonction de la morphologie du terrain (accessibilité pour les engins mécaniques ou non) et de son degré d'envahissement. J'ai donc mis en œuvre un plan d'action à mener sur plusieurs années afin de contrôler la dynamique de croissance des pieds de renouées et empêcher leur propagation sur d'autres sites. C'est un travail de longue haleine qui m'a demandé beaucoup de temps de travail, sur le terrain principalement. Fort de cette expérience de gestion sur plusieurs mois, j'ai réalisé une fiche espèce pour l'AGEK, comprenant une présentation de la biologie de l'espèce, des moyens de gestion à mettre en œuvre pour réguler sa croissance, ainsi que mon retour d'expérience afin d'envisager ce qui pourrait être amélioré pour le futur. De même, je suis retourné plusieurs fois sur le terrain en fin de stage afin de montrer précisément à certains membres de l'AGEK les bons gestes à effectuer et ceux qu'il faut éviter.

Des photos et des explications plus détaillées de ces mesures de gestion sont disponibles aux adresses Internet mentionnées à l'Annexe n°6.

Résumé

Depuis le début des années 2000, l'Élodée de Nuttall (*Elodea nuttallii*), plante aquatique originaire d'Amérique du Nord, s'est installée au sein de la rivière d'Ain au niveau de la base de loisirs de l'île Chambod, occasionnant des impacts sur l'écosystème ainsi que des gênes régulières pour la pratique des activités humaines.

A l'aide d'une bathymétrie complète de la retenue d'Allement et en concertation avec les gestionnaires du milieu, des zones d'action prioritaire doivent être définies. Ces zones revêtent un intérêt économique et/ou écologique majeur, c'est pourquoi un suivi des herbiers aquatiques qui y sont présents est requis. La mise en place de sondes de mesure multiparamètres au sein de ces zones permettra de recueillir des informations afin de comprendre les liens de cause à effet qui régissent la dynamique de croissance de l'Élodée de Nuttall.

A l'aide d'un râteau à manche télescopique, la méthode des points-contacts permet d'effectuer un échantillonnage de ces communautés macrophytiques. Un relevé à l'échosondeur permet d'estimer la hauteur des herbiers et un GPS permet de géoréférencer la position de chaque point-contact.

Les résultats de l'échantillonnage indiquent une forte abondance des herbiers de Myriophylles à épis (*Myriophyllum spicatum*) et une abondance moindre des herbiers d'Élodées. Dans ce cas-là, il convient de surveiller la croissance des macrophytes et de n'intervenir qu'en cas de gêne réelle pour les activités humaines ou de menace écologique. Si c'est le cas, il est conseillé d'organiser des sessions d'arrachage manuel lorsque la transparence est bonne, ou bien d'effectuer un arrachage mécanique à l'aide d'un bateau moissonneur. La mise en place d'un filet à double jeu en aval de la zone de coupe est primordiale afin de limiter la propagation des fragments de tiges qui se seraient dispersés.

A l'avenir, les efforts devront être axés dans la prévention des risques liés aux introductions d'espèces exotiques envahissantes.

Abstract

Since the early 2000s, Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*), an aquatic plant native to North America, has settled in the Ain river, close to the leisure base of Chambod island, causing impacts on the ecosystem as well as regular troubles for the practice of human activities.

With the help of a complete bathymetry of Allement reservoir and in consultation with the managers of the island, priority zones must be defined. These areas are of major economic and/or ecological interest, so monitoring of the aquatic grassland present there is required. The establishment of multiparameter measurement probes within these zones will provide some informations to understand the cause and effect relationships that governs the growth dynamics of Nuttall's waterweed.

Using a telescopic handle rake, the point-contact method allows sampling of these macrophytic communities. An echo sounder reading allows to estimate the height of the aquatic grasslands and a GPS allows to georeference the position of each point-contact.

The sampling results indicate a high abundance of Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) aquatic grasslands and a lower abundance of Nuttall's waterweed ones. In this case, it is necessary to monitor the growth of the macrophytes and to take action only in case of real discomfort for human activities or ecological threats. If necessary, it is recommended to organize manual weeding sessions when transparency is good, or to perform a mechanical weeding using a harvester boat. The installation of a double-gate net downstream of the cutting area is essential in order to limit the propagation of stems fragments that might have dispersed.

In future, efforts should focus on preventing the risks associated with the introduction of invasive alien species.