



HAL
open science

AquaVIT Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières : approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires

Cristina Ribaldo, Pierre Anschutz, Vincent Bertrin, Stéphane Bujan, Céline Charbonnier, Jeffrey Dehez, Mélissa Eon, Ludovic Ginelli, Gwilherm Jan, Sophie Le Floch, et al.

► To cite this version:

Cristina Ribaldo, Pierre Anschutz, Vincent Bertrin, Stéphane Bujan, Céline Charbonnier, et al.. AquaVIT Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières : approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires. [Rapport de recherche] INRAE UR ETBX; INRAE UR EABX; Université Bordeaux. 2020, 125 p. hal-03113056

HAL Id: hal-03113056

<https://hal.inrae.fr/hal-03113056v1>

Submitted on 18 Jan 2021

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

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

AquaVIT Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières : approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires

Coordination : INRAE, UR EABX, Equipe Ecovea

Auteurs :

Cristina RIBAUDO¹, Pierre ANSCHUTZ², Vincent BERTRIN¹, Stéphane BUJAN², Céline CHARBONNIER², Jeffrey DEHEZ³, Mélissa EON¹, Ludovic Ginelli³, Gwilherm JAN¹, Sophie LE FLOCH³, Théo MARECHAL¹, Maud PIERRE¹, Dominique POIRIER², Juliette ROSEBERY¹

¹ INRAE, UR EABX

² Université de Bordeaux, UMR CNRS 5805 EPOC – OASU

³ INRAE, UR EADT

Août 2020

NUMERO DE LA CONVENTION	2015-1R20603		
NOM DE L'ETABLISSEMENT	INRAE centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, site de Gazinet		
INTITULE DU PROJET	AquaVIT Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières : approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires		
NOM DU PORTEUR DE PROJET	Juliette ROSEBERY		
PERIODE D'EXECUTION CONCERNEE	DU	01/07/2015	AU 31/06/2019

Principaux laboratoires de recherche participants :

Nom du correspondant principal	Prénom	Discipline	Unité	Etablissement
DEHEZ	Jeffrey	Economie	ETBX	INRAE
BERTRIN	Vincent	Écologie végétale	EABX	INRAE
ANSCHUTZ	Pierre	Biogéochimie	UMR EPOC	Univ. Bordeaux

Contributeurs :

- INRAE (ex-Irstea) :

Équipe ECOVEA : Vincent BERTRIN (IE), Cristina RIBAUDO (IR Irstea + Postdoc EPOC), Gwilherm JAN (TR), Mélissa EON (AI), Théo MARECHAL (Stagiaire M2), Maud PIERRE (IE), Juliette ROSEBERY (DR)

Équipe EADT : Jeffrey DEHEZ (CR), Ludovic Ginelli (IE), Sophie LE FLOCH (CR)

- Université de Bordeaux :

Laboratoire EPOC, Équipe ECOBIOC : Pierre ANSCHUTZ (PR), Céline CHARBONNIER (IR), Dominique POIRIER (AI), Stéphane BUJAN (IE)

Table des matières

Résumé	4
Rappel des objectifs initiaux et du contexte	5
Approche scientifique et technique	6
Sites d'études	7
Résultats.....	8
Impact du projet par rapport aux priorités régionales.....	11
Évaluation des résultats du projet d'un point de vue environnemental et social	13
Actions de valorisation vers le monde socio-économique.....	15
Conclusions et perspectives	19
Références	20
LIVRET 1	
Résultats détaillés : approches biogéochimiques et hydrodynamiques	23
LIVRET 2	
Résultats détaillés : le point de vue des Sciences Humaines et sociales	55

Résumé

AquaVIT : Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières : approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires.

Le projet de recherche AquaVIT vise à accompagner l'évolution des modalités de gestion des grands lacs aquitains, confrontés à des enjeux environnementaux liés à la colonisation par les plantes aquatiques invasives. Ces plantes exotiques à caractère envahissant peuvent occuper une place importante au sein des écosystèmes lacustres et, par la même occasion, entraver de nombreux usages des lacs, notamment la pratique d'activités de loisirs. En Nouvelle-Aquitaine, ces macrophytes invasifs font l'objet d'une attention de la part des gestionnaires, élus et scientifiques depuis maintenant plus de trente ans. Néanmoins, un certain nombre d'interrogations demeurent. Les plantes présentent encore des dynamiques de colonisation importantes dans de nombreux plans d'eau et les opérations de gestion visant à les réguler sont menées localement. Le projet de recherche AquaVIT s'intéresse particulièrement aux questions suivantes :

- Les plantes invasives constituent-elles un élément perturbateur du bon fonctionnement écologique lacustre ?
- Comment "faire avec" les plantes au quotidien ?
- Comment "faire ensemble" ?

Le projet AquaVIT affiche une ambition pluridisciplinaire forte, qui associe, dès sa conception, les sciences humaines et sociales d'une part, et les sciences biogéochimiques et écologiques d'autre part. Ce projet propose une alternative à la vision quantitative et mesurable, strictement centrée sur la plante (*i.e* distribution et biomasse des plantes), vers une approche plus qualitative, orientée sur les relations entre la plante et son environnement, celui-ci étant considéré d'un point de vue écosystémique et social. Appropriée par chacune des disciplines, cette posture a donné lieu à des approches empiriques diverses et spécifiques. Dans le projet AquaVIT ont été déployées, entre autres, des enquêtes (qualitatives et quantitatives) auprès des acteurs, des études socio-historiques basées sur des analyses de documents, mais aussi des prélèvements et mesures biologiques et physico-chimiques *in situ*, ainsi que des expérimentations en laboratoire. Le croisement de ces regards et de ces méthodes constitue une des richesses du projet.

Les résultats obtenus invitent à s'éloigner d'une représentation univoque des conséquences potentielles de la présence d'herbiers denses de plantes aquatiques invasives, tout comme à contextualiser la problématique socio-environnementale de leur gestion. Ceci peut être illustré par le fait que les processus écologiques et biogéochimiques à l'œuvre dans les herbiers sont étroitement liés aux conditions hydrodynamiques locales, ou encore que les représentations et les attitudes à leur sujet dépendent pour partie des usages et des pratiques de terrain. Dans certaines conditions, une telle « contextualisation » de la problématique a favorisé l'émergence d'innovations organisationnelles, se traduisant, par exemple, par des dispositifs à caractère participatif. En dépit des motivations et des intentions à s'engager, dont témoignent les usagers des plans d'eau, les soutiens (humains, techniques et financiers) des pouvoirs publics, restent essentiels. Sur un plan spatial, ces innovations peinent toutefois à dépasser l'échelle des sites, de sorte que la mise en relation entre plusieurs secteurs, que l'on est parfois en mesure d'attendre compte tenu de la dynamique des plantes et des processus, repose encore très largement sur les réseaux sociotechniques des gestionnaires traditionnels des milieux, et peu sur les utilisateurs finaux.

Rappel des objectifs initiaux et du contexte

Définies comme "l'introduction volontaire ou involontaire par l'homme, d'espèces animales ou végétales, en des lieux où elles n'existent pas normalement", les invasions biologiques constitueraient, aujourd'hui, la deuxième source d'érosion de la biodiversité dans le monde. En milieu aquatique, les plantes exotiques à caractère envahissant sont présentes dans toutes les régions tempérées (Chamier et al., 2012), avec des taux de croissance élevés et des modalités de dispersion rapide (Mazzeo et al., 2003). Différentes problématiques d'ordre écologique sont en lien avec ces plantes invasives, telle que la diminution de la biodiversité végétale et animale (Miranda et Hodges, 2000) ou la compétition avec les espèces autochtones (Raun et al., 2010). Les activités humaines sont un facteur important dans la multiplication des foyers d'invasion (Lovell et Stone 2005, Coetzee, Hill et al. 2009, Epanchin-Niell 2017), avec des conséquences tout autant d'ordre écologique qu'économique.

Face à ces menaces, des mesures sont prises. Celles-ci vont de la régulation des échanges internationaux à l'arrachage de plantes sur des parcelles très localisées. Après plusieurs décennies de gestion, un certain nombre d'interrogations demeurent toutefois. D'un côté, la catégorie "plantes invasives" serait *a priori* bien définie. Elle appellerait un objectif d'action évident et universel, à savoir limiter l'expansion de certaines espèces, voire à tenter de les "éradiquer" (Menozzi, 2010 ; Woods & Moriarty, 2001). De l'autre côté, les effets des pratiques découlant de cet objectif seraient souvent loin d'être ceux attendus : les plantes sont toujours là, parfois même après des décennies d'intervention (Delbart et al., 2012). Si l'on analyse ce paradoxe en termes d'"échec" (Head, 2017), comment expliquer que, sur le terrain, de nombreuses actions continuent à être menées ?

Les pratiques de gestion s'appuient sur les connaissances actuellement disponibles concernant l'impact des hydrophytes invasifs dans les milieux colonisés, néanmoins de nombreuses questions d'ordre scientifique et technique persistent encore à ce jour. Sur un plan environnemental, peu de travaux s'intéressent à l'impact des plantes invasives sur la qualité des eaux et sur le cycle des nutriments (Miranda et al., 2000). Compte tenu des biomasses végétales très importantes produites par les herbiers, ces plantes submergées pourraient, entre autres, favoriser l'accumulation de matière organique susceptible de nuire à l'oxygénation des eaux et à la mobilisation des nutriments dans la colonne d'eau (Bolpagni et al., 2007; Chamier et al., 2012). Dans le champ des sciences sociales, la prise de conscience est encore plus récente (Perrings 2001, Shackleton, Larson et al. 2019), ce qui rend difficile de bâtir une approche véritablement intégratrice et pluridisciplinaire du problème, que de nombreux spécialistes appellent pourtant de leurs vœux (Vaz, Kueffer et al. 2017).

C'est dans un tel contexte que le projet de recherche AquaVIT vise à accompagner l'évolution des modalités de gestion des grands lacs aquitains, en tant qu'espaces d'activités récréatives et touristiques, confrontés à des enjeux environnementaux liés aux colonisations par les plantes aquatiques invasives. Le projet de recherche AquaVIT vise à répondre aux questions suivantes :

- Les plantes invasives constituent-elles un élément perturbateur du bon fonctionnement écologique lacustre ?
- Comment "faire avec" les plantes au quotidien ?
- Comment "faire ensemble" ?

Approche scientifique et technique

Dès sa construction, le projet AquaVIT affiche une ambition pluridisciplinaire forte. Cette dernière a été envisagée à deux niveaux : à l'échelle du projet d'une part, au sein de chaque grande « famille » disciplinaire d'autre part.

Une démarche commune a donc été élaborée. Ainsi, l'hypothèse de départ est que le modèle dominant (celui de "la mauvaise plante au mauvais endroit au mauvais moment" Robbins, 2004) aurait montré ses limites, pour les acteurs de terrain comme pour les scientifiques. Il y aurait un éloignement d'une vision quantitative et mesurable centrée sur la plante (distribution et biomasse des plantes), en direction d'une approche plus qualitative et relationnelle, centrée sur les relations entre la plante et son environnement de manière globale, au niveau écosystémique comme socio-économique.

Cette proposition a été déclinée au sein des différentes familles disciplinaires. Elle ouvre à des postures scientifiques critiques et innovantes (Head, 2017 ; Head, Atchison, Phillips, 2014 ; Barker, 2008) :

- En croisant une approche de géographie relationnelle et une approche de sociologie pragmatique, nous renouvelons l'appréhension des catégories "plantes invasives" ainsi que la façon de mettre en œuvre des stratégies d'intervention sur ces plantes, en nous démarquant d'approches purement constructivistes. Nous analysons la façon dont les catégories se nourrissent de l'expérience des praticiens autant qu'elles la guident (Jones, 2009 ; Robbins, 2001), et montrons leur caractère changeant car situé (Gusfield, 1996 ; Claeys, 2013).
- En économie, nous nous écartons également des approches normatives standard (Perrings, Williamson et al. 2002, Marbuah, Gren et al. 2014, Epanchin- Niell 2017) pour aborder la gestion des plantes invasives sous l'angle de la fourniture d'un service (Gadrey 2000, Aznar 2011, Dehez 2019). La dimension partenariale, en particulier l'implication des utilisateurs finaux (pratiquants de loisirs) est analysée comme une innovation relationnelle (Gallouj et Weinstein 1997, Miles 2003). Nous considérons, en outre, que cette innovation possède un caractère institutionnel et territorial (Weiss *et al.* 2007, Beunen 2016).
- En écologie, l'utilisation de la concentration en oxygène comme indicateur de la qualité de l'eau en fonction des conditions hydrodynamiques locales est un aspect novateur. L'occurrence d'épisodes de sous-oxygénation représente un critère utile afin de définir l'impact des herbiers sur le fonctionnement normal du lac (Grieshaber et al., 1994 ; Viaroli et Christian, 2004 ; Verberk et al., 2011 ; Zilius et al., 2014). De même, le suivi des flux sédimentaires couplé aux mesures dans la colonne d'eau permet d'appréhender l'impact sur le cycle des nutriments des invasions de macrophytes de façon très intégrée, et transposable méthodologiquement à d'autres systèmes naturels similaires (cf. annexes).

La diversité et l'intérêt des approches scientifiques choisies s'expriment également au niveau des méthodes mises en œuvre.

En SHS, nous avons eu l'occasion de croiser (cf. annexes) :

- des approches *via* les acteurs (cf. ci-dessus) et *via* les sites ; les différentes études de cas étant décrites par des attributs environnementaux, institutionnels (droits de propriétés, outils de protection...) et organisationnels (nombre et types d'acteurs, compétences mobilisées...)

- des entretiens semi-directifs, des enquêtes de fréquentation, mais aussi des analyses de documents, ainsi que la participation à des réunions ou à des événements divers (chantiers d'arrachage des plantes...);
- des approches qualitatives (analyse de contenu, observations) et quantitatives (statistiques et économétrie).

En écologie, ont été évaluées les interactions plantes-eau-sédiment à travers une approche couplée entre biogéochimie, écophysiologie végétale et hydrodynamique. En particulier, nous avons pu :

- décrire la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie, en termes de rejet de carbone et azote à l'échelle saisonnière, à l'aide de prélèvements ponctuels d'eau ;
- décrire la qualité des sédiments et leur enrichissement en matière organique, à l'aide de prélèvements ponctuels de sédiment ;
- décrire l'influence des conditions hydrodynamiques locales sur l'oxygénation de l'eau, à l'aide de sondes autonomes.

Sites d'études

Les lacs et étangs du littoral aquitain ont commencé à se former il y a 4000 ans, par l'obstruction des fleuves côtiers provenant du plateau landais à l'est et par l'accumulation des eaux derrière les dunes faisant barrage à l'ouest. De superficies variables, ces lacs sont caractérisés par une profondeur moyenne faible (généralement <3m), ainsi que des niveaux trophiques hétérogènes (oligo-mésotrophe à hypereutrophes). Ils sont reliés entre eux via des réseaux hydrographiques (artificiels et naturels), au sein de plusieurs bassins versants. Les communautés végétales aquatiques présentent des spécificités directement liées à la nature géologique des bassins versants et à la qualité de leurs eaux, qui en font des composantes importantes du patrimoine naturel régional (Dutartre 2007, Bertrin, 2013). Ces communautés végétales sont toutefois soumises à des introductions d'espèces dont certaines sont devenues envahissantes depuis le début des années soixante-dix. Sur le plan environnemental, il est pertinent de se demander si le développement massif de ces plantes n'impacte pas la qualité de l'eau et le fonctionnement de l'écosystème, en tenant compte de l'influence potentielle des conditions naturelles locales (hydrodynamisme, vent notamment).

Le développement de plantes aquatiques invasives perturberait tout autant les trajectoires économiques et sociales locales, les lacs étant situés dans certains des territoires les plus attractifs de Nouvelle-Aquitaine (Mora, Banos et al. 2012, Bernard, Dehez et al. 2013, Dehez 2013). Ces espaces sont, en effet, une composante essentielle du triptyque « océan-lacs-forêt » régional. Ils sont utilisés pour la pratique d'activités telles que la marche et la baignade, la pêche, la chasse, le nautisme, ainsi que nombre de sports de nature (kitesurf, stand up paddle...) dont l'essor rapide n'est pas sans questionner les gestionnaires (Ginelli 2017). De part de leur caractère envahissant, qui entrave certaines activités de loisir, il n'est guère étonnant que les plantes aquatiques invasives aient, depuis plus de trente ans, été l'objet d'une réelle attention de la part des gestionnaires, élus et scientifiques locaux, faisant de la région Aquitaine un territoire d'expérimentation pionnier en la matière (Dutartre 2002, Dutartre et Oyarzabal, 1993). Pour autant, reconnaissons que les principales avancées ont été obtenues sur les techniques et la

cartographie des plantes (Dutartre et al. 1989, Dutartre et al. 1997, Bertrin et al. 2007, Bertrin et al. 2012), et que les attentes actuelles portent au moins autant sur des questions d'ordre organisationnel et institutionnel (Menozzi 2006, Dutartre et Menozzi 2008).

Les campagnes de terrain ont été menées sur deux plans d'eau particulièrement concernés par des développements d'herbiers denses d'hydrophytes exotiques envahissants. Il s'agit des lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse où les biomasses et les superficies colonisées par *Lagarosiphon major* et *Egeria densa* sont significativement élevées (total de 400 tonnes et 1,2 km² en 2014 estimés dans le lac de Lacanau ; total de 2785 tonnes et 4,2 km² en 2015 estimés dans le lac de Parentis-Biscarrosse ; Bertrin et al., 2017). Au départ, les lacs de Carcans-Hourtin et de Cazaux-Sanguinet devaient faire l'objet de suivis dans le cadre du projet AquaVIT. Cependant, les faibles biomasses végétales et les superficies colonisées observées dans ces deux plans d'eau, n'auraient pas permis la mise en œuvre des analyses réalisées dans ce projet. Ainsi, compte tenu des données disponibles sur l'état des colonisations végétales exotiques dans les grands lacs du littoral aquitain (Bertrin et al. 2017), les lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse ont été retenus pour la réalisation des suivis et expérimentations présentés ci-après.

Résultats

D'un point de vue écosystémique, la présence d'herbiers denses diminue l'hydrodynamisme local et engendre le dépôt de vases organiques dans les premiers centimètres du sédiment sableux. Ces vases sont très réactives et montrent les flux benthiques en composés azotés, phosphatés et en fer les plus forts. Ceci signifie que les surfaces colonisées par les plantes sont des surfaces additionnelles à fort flux benthique : les plantes assimilent des nutriments dans leur biomasse, mais elles amplifient le recyclage benthique à l'échelle du lac. Ce recyclage est saisonnier, parce qu'on note de fortes différences entre l'été (septembre) où le sédiment est une source majeure en azote et phosphore et l'hiver (mars), où le sédiment est un puits d'azote en raison de la dénitrification. Ces flux benthiques jouent un rôle dominant dans le cycle des éléments nutritifs du lac de Parentis-Biscarrosse, parce qu'ils dépassent les flux issus du bassin versant. Nous avons obtenu des résultats et des conclusions similaires pour le lac de Lacanau, pour lequel malgré tout les flux issus du bassin versant semblent jouer un rôle plus important dans le cycle des nutriments.

Les mesures effectuées dans la colonne d'eau montrent que l'oxygénation des herbiers denses des hydrophytes invasives est fortement influencée à la fois par la présence de ces plantes et par l'hydrodynamisme local. Les résultats obtenus dans les herbiers de Lacanau sur des cycles jour/nuit (Ribaud et al., 2018) montrent que, dans les conditions locales et sur la base de mesures et prélèvements ponctuels, les variations jour/nuit ne sont pas marquées et que, dans plusieurs cas la colonne d'eau est bien oxygénée même en présence d'un herbier développé, et même pendant la nuit. En même temps, la colonne d'eau peut devenir épisodiquement anoxique même en plein jour (Ribaud et al., 2015). Les résultats obtenus à Lacanau montrent aussi que les différences entre surface et fond, c'est-à-dire la présence/absence d'une colonne d'eau stratifiée, sont dépendantes du site d'échantillonnage et surtout des conditions locales de l'hydrodynamisme (voir Figure 1 ci-dessous).

Les résultats indiquent également que les processus couplés de production et dégradation de la biomasse se déroulent très rapidement au sein des herbiers de plantes invasives. Cela aussi indique que, très probablement, les nutriments en surplus générés dans les

sédiments végétalisés n'impactent pas le reste du lac, car tous les nutriments sont visiblement piégés en biomasse de façon très rapide.

Les mesures de l'oxygénation à haute fréquence et de l'hydrodynamisme durant un an au sein des herbiers et leur périphérie, indiquent que les lacs étudiés sont bien oxygénés durant la majeure partie de l'année dans toutes les stations. On observe des valeurs supérieures au seuil de 50% de saturation, des épisodes d'hypoxie relativement peu nombreux, ainsi que des épisodes d'anoxie totalement absents dans la plupart des cas. Les épisodes d'anoxie et d'hypoxie sont plus fréquents dans les herbiers denses, à l'exception de la zone exposée aux vents du lac de Lacanau. En dépit d'une biomasse importante de plantes, la libération d'oxygène par la photosynthèse des macrophytes, couplée au brassage de l'eau, est suffisante à maintenir de très bonnes conditions d'oxygénation dans ces lacs. Les épisodes d'hypoxie et d'anoxie sont présents, mais pas seulement en présence des plantes. Les conditions hydrodynamiques jouent un rôle déterminant dans la teneur d'oxygène présent dans les herbiers. Elles sont susceptibles de contrebalancer les déficits en oxygène au sein des herbiers. Ces déficits peuvent également avoir lieu dans les stations "sol nu", à l'abri du vent, soutenant l'hypothèse du rôle très important des compartiments planctonique (phytoplancton, cyanobactéries) et bactérien dans la dynamique de l'oxygène au niveau de ces stations.

Une conclusion importante de notre approche écosystémique montre donc le rôle majeur des conditions locales, en particulier l'hydrodynamisme lié au vent, dans l'impact des herbiers d'invasives sur l'oxygénation de l'eau (Figure 1).

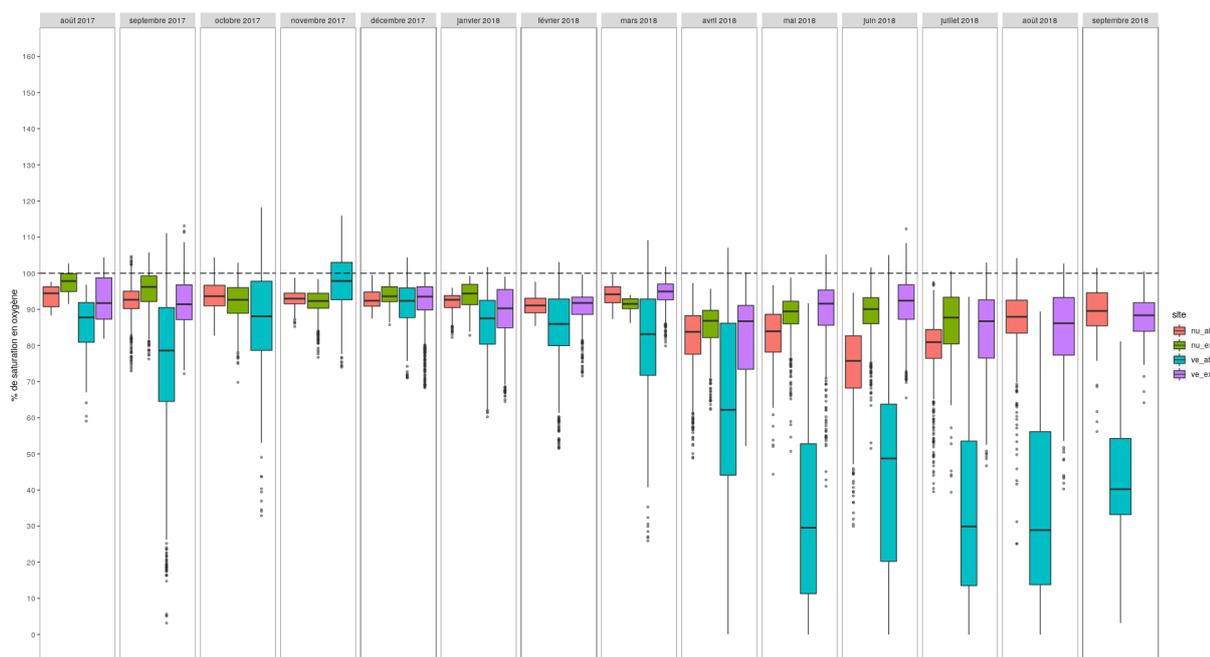


Figure 1 : Représentation de la dynamique mensuelle de la saturation en oxygène sous forme de boîtes à moustaches dans le lac de Lacanau en fonction des conditions d'exposition aux vents et de la présence ou non d'herbiers denses d'hydrophytes envahissantes (nu = sol nu ; ve = sol végétalisé ; ab = abri du vent ; ex = exposé).

Remarque :

Des investigations complémentaires, non prévues dans le projet de départ, ont été menées :

- afin de mieux comprendre le succès compétitif des plantes invasives, des expérimentations menées en mésocosmes ont montré comment les deux espèces d'hydrophytes influencent la chimie de l'eau de façon significative, à travers une grande production de carbone organique. Une analyse de la bibliographie montre que cette production peut influencer la relation plante-plante ainsi que la relation plante-communauté bactérienne, et ainsi faciliter l'installation des plantes invasives.
- une analyse *in situ* des sédiments organiques indiquent qu'ils sont principalement constitués de diatomées, de débris de végétaux, de zooplancton et d'agrégats de matière biologique et minérale. Les plantes invasives ne représentent pas une fraction dominante de la matière organique des lacs, mais elles contribuent partiellement à la matière organique des vases prélevées dans les zones colonisées. Il semble que la production primaire autochtone, en particulier le phytoplancton, soit le contributeur majeur de la matière organique des lacs.

Le détail des résultats acquis en biogéochimie et hydrodynamique est présenté dans le livret 1.

Du point de vue des sciences humaines et sociales, notre recherche met tout d'abord en évidence une faiblesse des repères institutionnels classiques face au phénomène d'invasion biologique. En particulier, la réglementation sur les plantes invasives est, sinon peu présente, à tout le moins ignorée ou non appliquée. Cette situation incite les acteurs à se tourner vers d'autres cadres (protection des espaces naturels, régulation des eaux...) ou références, plus ou moins tacites. Pour les gestionnaires des espaces considérés, les "invasives" ne constituent pas une catégorie fixe et bien délimitée (Le Floch et Ginelli, soumis). Non seulement une espèce est ou n'est pas dans la catégorie « invasives » selon les acteurs, les endroits, les moments... mais encore, pour un même acteur, une espèce peut entrer ou sortir de la catégorie selon les moments, les enjeux considérés, etc. Entre autres, ni le critère de l'allochtonie, ni la distinction naturel / anthropique ne sont jugés pertinents. Les plantes « invasives » sont fondamentalement ambivalentes. C'est vrai également pour les usagers du plan d'eau (Dehez 2020). Par exemple, des pêcheurs peuvent les juger gênantes pour leur pratique et favorables à la reproduction des poissons. Cette façon « souple » que les acteurs ont de catégoriser les « invasives » va de pair avec leur façon d'établir des stratégies d'interventions. Nous observons que les acteurs rejettent toute action d'envergure mue par un objectif radical (« éradiquer ») au profit d'interventions ciblées répondant à des objectifs variés et contextualisés : éviter la propagation d'une espèce au-delà des limites d'un lac, contenir la densité d'un herbier à proximité d'une zone nautique, éradiquer un départ dans un marais abritant des espèces patrimoniales... Il en résulte des positionnements d'acteurs assez inattendus, tels par exemple ces gestionnaires d'espaces protégés qui ne se montrent pas si « arc-boutés » que ça sur la question des « invasives »...

À bien des égards, ces catégorisations ont un caractère spatialisé. Par exemple, l'étude de fréquentation (Dehez 2020) montre que la proximité géographique au site permet aux résidents de se forger une expérience propre basée sur la pratique des lieux et l'accès à des sources d'information locales. Pour les usagers également, l'éradication n'est pas le but premier (Dehez 2020).

Le détail des résultats acquis en SHS est présenté dans le livret 2.

La lecture de nos résultats sous l'angle de l'interdisciplinarité amène à admettre que tous convergent vers une invitation à s'éloigner d'une représentation univoque de la présence

d'herbiers d'invasives. Nous avons montré que les problématiques, qu'elles soient sociales, économiques ou écologiques sont toutes fortement contextualisées.

Si une telle hétérogénéité institutionnelle et environnementale pourrait être perçue comme un obstacle à la coordination, nous observons, dans le même temps, qu'elle participe d'une catégorisation "souple" du problème qui, à son tour, permet l'émergence d'innovations organisationnelles, à l'instar de ce que l'on observe dans l'analyse des chantiers collectifs.

En effet, c'est véritablement l'implication des utilisateurs finaux qui va façonner le caractère territorial de la gestion. Ces innovations n'apparaissent pas nécessairement là où il y a le plus de plantes, mais, le plus souvent là où les usages sont fortement impactés, dans des propriétés publiques où les droits d'accès sont ouverts. Elles devront à l'avenir tenir compte du contexte hydrodynamique local, qui apparaît central dans le choix d'intervenir ou de laisser faire.

La contextualisation est d'autant plus marquée que la superficie du lac s'accroît. Au-delà de quelques dizaines d'hectares en effet, le plan d'eau n'est plus considéré comme une entité unique et l'attention des acteurs se focalise sur des lieux précis (anse, port, parcours de pêche...). Cette ouverture au public de la gestion concerne en priorité des usagers dont l'action est déjà un minimum structurée et que l'on sollicite dans un but bien précis. Les échanges de savoirs sont encore relativement limités. Le « grand public » est souvent absent de ces opérations et ce, bien que nos enquêtés expriment une réelle volonté de s'impliquer. Dans ces conditions, le soutien (humain, technique et financier) des pouvoirs publics reste essentiel.

À bien des égards, un tel "recentrage" conditionne la mise en relation entre les sites que l'on peut attendre face à ce type de problème (Menozzi et Dutartre 2007). Lorsqu'elle parvient à se mettre en place, cette mise en relation est plutôt le fait des gestionnaires et des techniciens, qui exploitent leurs réseaux sociotechniques, pour éventuellement sortir des schémas et des zones de compétences préétablis. Apparaissant aujourd'hui comme le principal levier d'une organisation de la gestion à une échelle « supra », cette « proximité organisée » (au sens de Torre et Zuindeau 2009) entre gestionnaires mériterait d'être soutenue par les pouvoirs publics, en réfléchissant, par exemple, à de nouvelles modalités d'échanges et d'interconnaissance.

Impact du projet par rapport aux priorités régionales

Nous avons mis en œuvre une approche pluridisciplinaire qui mobilise des sciences du milieu et des sciences humaines et sociales. Nous nous sommes attachés à mieux appréhender les relations plante-milieu, à travers le rôle de la biomasse sur l'oxygénation de l'eau et la mobilisation des nutriments dans la colonne d'eau et les sédiments. Nous avons également déterminé la façon dont les acteurs définissent les problèmes liés à la présence d'espèces végétales invasives, les réponses à y apporter et les modes de coordination que suppose la redéfinition de ces problèmes. En ce sens, projet AquaVIT a contribué à la priorité n°2 de la Région Nouvelle-Aquitaine, à savoir "l'appui et le ressourcement des grandes politiques de la Région en lien avec les grands défis sociétaux et environnementaux actuels".

Conformément à ce qui avait été imaginé au moment de son élaboration, la contribution du projet AquaVIT au développement régional et territorial s'est faite autour de deux grands thèmes.

1) La territorialisation des politiques publiques environnementales

Un des principaux apports de notre recherche réside en sa capacité à expliquer le caractère « endogène » et nécessairement spatialisé de la gestion des plantes aquatiques invasives, compte tenu des spécificités physiques et environnementales (notamment dans les anses à l'abri du vent et dans les ports, où les plantes se développent d'avantage, Bertrin et al., 2017, 2018), mais aussi des usages, des perceptions et des savoir-faire locaux.

Ce résultat conforte la nécessité de s'écarter des solutions toutes faites, imposées par des logiques de type "top-down", afin de donner plus de poids aux initiatives locales et aux dispositifs territorialisés (à l'instar du système d'aides financières, couplés à la sélection de "référénts locaux", mis en place par le syndicat mixte Géolandes). Notre analyse confirme l'effet positif du soutien financier sur les chantiers collectifs, sans lequel les interventions ne pourront vraisemblablement pas atteindre, et maintenir durablement, des niveaux suffisants. De même, la mise en évidence de l'existence d'un savoir-faire localisé, étroitement lié aux pratiques et aux expériences individuelles des lieux, invite à reconsidérer la nature des messages et des politiques d'information à caractère (trop) général.

Comme nous l'avons vu, cette territorialisation de l'intervention publique se traduit également sur le jeu des échelles (spatiales) des outils de gestion. Nous avons montré que ces échelles ne sauraient être fixées a priori (par des critères physiques ou administratifs) mais qu'elles sont pour partie construites par les acteurs eux-mêmes, eu égard à leurs usages de ces milieux naturels, ainsi qu'aux réseaux sociotechniques auxquels ils appartiennent. De tels réseaux doivent être soutenus et encouragés (via des réunions techniques par exemple). Une demande en la matière est plusieurs fois ressortie dans nos entretiens. Aujourd'hui, ces proximités socio-professionnelles semblent constituer un des principaux leviers de la mise en relation entre les sites que les dynamiques écologiques (et hydrologiques) requièrent parfois. Les utilisateurs finaux (usagers, entreprises de loisirs, associations...) sont encore trop souvent inscrits dans des conflits d'usages locaux, qui ne leur permettent pas de tenir ce rôle.

Si le principe d'une intervention conçue à une échelle "supra", souhaitée par certains acteurs, ne doit pas totalement être rejeté, celui-ci doit donc être appréhendé avec précaution et ne pourra (ne devra) pas se faire sans une connaissance fine des constructions et organisations locales, ainsi que des problématiques écologiques locales avérées.

La territorialisation de la gestion passe également par la capacité à intégrer un large spectre d'acteurs, dans ce qu'il est parfois convenu d'appeler une gestion à caractère plus "participatif". Cet objectif, de plus en plus inscrit dans les agendas politiques et institutionnels (Convention sur la Diversité Biologique, Objectifs d'Aichi, Directive Cadre Eau,...) est, toutefois, loin d'être acquis sur le terrain. L'interconnaissance entre ces acteurs issus d'univers distincts (environnement, aménagement, loisirs, tourisme) doit absolument être renforcée. Nos entretiens ont mis à jour les relations parfois conflictuelles, entre ces acteurs de la sphère récréative, sportive et touristique d'une part, et avec les acteurs en charge de la conservation et de la gestion des plantes invasives, d'autre part, d'aucun souhaitant une "mise en défens" des sites patrimoniaux tandis que d'autres espèrent, au contraire, favoriser l'ouverture et la mobilité, afin d'offrir des « paniers » de services touristiques diversifiés. À Aureilhan par exemple, nos résultats sont utilisés pour discuter collectivement des choix à venir dans le cadre des projets d'investissement portés par la communauté de communes de Mimizan sur le lac, lequel constitue un des quatre sites tests du dispositif des "stations touristiques durables" porté par le GIP Littoral et qui, à terme, a vocation à s'étendre à l'ensemble du territoire régional.

Pour les usagers, nous avons vu que les freins à l'implication ne semblent pas relever d'un problème de ressources, ni de compétences, mais peut-être plus de la difficulté à passer d'une mobilisation individuelle, et choisie, à l'intégration dans un dispositif plus contraignant. La légitimité à intervenir renvoie également à la question de l'appartenance, ou pas, au territoire. Ces facteurs doivent permettre de redéfinir les opportunités offertes aux riverains et aux touristes, qui se détournent encore très souvent des propositions d'actions qui leur sont faites.

Enfin, il y a un enjeu fort à intégrer toute une catégorie d'acteurs, les professionnels des sports de nature, trop souvent peu impliqués.

2) La valorisation des usages socio-culturels des lacs

Les lacs sont clairement identifiés comme une composante à part entière de la stratégie touristique régionale. En tant que tel, ils sont par exemple intégrés au schéma Plan Plage du GIP Littoral au motif que "les sites lacustres les plus naturels sont emblématiques, au même titre que les sites Nature, de l'image régionale d'une nature préservée et sécurisée". Ils constituent un élément à part entière du triptyque "océan-lac-forêt" autour duquel l'ancienne Région Aquitaine a depuis longtemps bâti son image et sa popularité, repris par de nombreux acteurs locaux. Certaines collectivités territoriales ont d'ailleurs largement investi dans les équipements et infrastructures d'accueil. Pour autant, la mise en valeur de ces milieux naturels demeure très en retrait des efforts engagés sur le littoral, qui demeure le principal pôle d'attraction touristique de la Région. D'une certaine façon, cette ressource naturelle territoriale attend donc toujours d'être "révélée" (Dehez 2019). Dans ce contexte, nos enquêtes ont permis d'identifier plusieurs spécificités propres aux lacs (Dehez 2020), aux yeux de leurs utilisateurs, et susceptibles de contribuer à concevoir un nouveau positionnement touristique : espace de nature, proximité et accessibilité sont quelques-uns des éléments clefs. Pour autant, le rapport au lac demeure très utilitariste et individuel. Nous n'avons pas décelé de signes représentatifs "d'un attachement aux lieux", autrement dit la présence d'un lien sensible entre les habitants et le lac, qui, dans certaines situations, est utilisé comme un puissant levier de mobilisation (Kaltenborn 1998, Ramkissoon, Weiler et al. 2012). Cela n'exclut pas la présence de motivations environnementales, à caractère plus général ("protéger l'environnement"). Les réunions d'animation collectives prévues à Aureilhan dans le cadre du dispositif des "Stations Durables" (Ci-avant) ont aussi pour objectif de commencer à faire émerger ce sentiment d'appartenance local.

Évaluation des résultats du projet d'un point de vue environnemental et social

Le niveau de réalisation des objectifs du projet AquaVIT est tout à fait conforme aux objectifs attendus avec, à ce stade, 18 publications à caractère scientifique et 30 produits de valorisation. Les recherches déployées au sein du projet AquaVIT marquent une rupture nette avec un grand nombre de travaux antérieurs dans le domaine des Invasion Sciences (Richardson D.M. (ed) 2011).

Du point de vue des sciences sociales, notre analyse des perceptions et des représentations locales est inédite, tant sur le plan de la palette des acteurs concernés (en

particulier les usagers et les résidents) que sur celui de la grille analytique retenue (Shackleton, Larson et al. 2019). Dans le projet AquaVIT, nous démontrons que les représentations et perceptions ne doivent pas être déconnectées des pratiques (et réciproquement), mais bien qu'elles se nourrissent de celles-ci. Notre réflexion sur la coordination entre les acteurs constitue une autre rupture avec les approches standard en économie, basées sur l'individualisme méthodologique strict et les logiques d'internalisation marchandes (Marbuah, Gren et al. 2014, Epanchin-Niell 2017). Bien qu'elle soit encore largement employée (Courtois, Figuières et al. 2018), l'analyse coût-bénéfice ne suffit pas à expliquer la diversité des stratégies sur le terrain (Lovell et Stone 2005, Kueffer 2013).

Du point de vue de l'approche écologique, nous avons montré comment la colonisation massive des plantes peut transformer le milieu aquatique et créer un nouvel écosystème au sein du lac. L'impact dépend notamment des conditions hydrodynamiques locales (vent, aménagement des anses...). De plus, la mise en évidence d'une rétroaction positive et du rôle des invasives en tant qu'espèces ingénieuses constitue ainsi un autre résultat original, et permet de s'éloigner d'une perception purement négative de ces plantes (Ribaudou et al., 2018). La présence des herbiers permet l'accumulation de vases organiques et donc la formation d'un stock de nutriments indépendant du reste du lac et disponible pour la croissance végétale.

Au final, de tels résultats permettent de resituer l'objet "invasif" dans sa réalité et de le reporter à sa fonctionnalité écologique dans l'écosystème. Parvenus au terme du projet, notre ambition pluridisciplinaire n'en est que renforcée : AquaVIT abonde en effet à la (trop) rare catégorie des travaux qui vise une lecture véritablement intégrée des écosociosystèmes (Vaz, Kueffer et al. 2017), couplant, pour cela, les Sciences Humaines et Sociales, avec les Sciences de l'Environnement. Les perspectives ouvertes par l'approche relationnelle sont riches et multiples. Cette dernière offre, en effet, un cadre, flexible et ouvert, ainsi qu'un repère pour chacune des disciplines. Pour autant, il faut reconnaître que la construction pluridisciplinaire a plus progressé au sein de chaque famille disciplinaire (SHS, et biogéochimie) qu'à l'échelle de l'ensemble du projet. En l'état actuel des connaissances, cela représente d'ores et déjà un progrès. Nous maintenons néanmoins nos efforts et entendons poursuivre dans cette direction, après la fin du projet AquaVIT. Cette fois-ci, nous envisageons de travailler autour d'un site dédié, dans une logique de "zone atelier". Dans les Landes, plusieurs lacs ont été identifiés comme de bons candidats.

Dès le départ, le projet AquaVIT a affiché l'atout de pouvoir s'appuyer sur un partenariat bien établi avec des acteurs socio-économiques et institutionnels locaux, au moins pour une partie des chercheurs impliqués. C'est bien cette antériorité qui a permis d'engager la dynamique de recherche, mais aussi d'impulser de nouveaux questionnements. Cela a pleinement profité aux chercheurs issus des Sciences Humaines et Sociales qui, à défaut, auraient certainement dû déployer plus d'efforts afin de créer les relations de confiance indispensables au bon déroulement de leurs travaux. Bien qu'il existait une réelle demande en direction des SHS, force est de constater qu'il est toujours plus facile d'investir une question environnementale en affichant des acquis et des compétences sur le fonctionnement des milieux.

Le projet AquaVIT illustre également la façon dont la recherche en partenariat peut être guidée, avant tout, par une "entrée par les problèmes" (Kueffer et Hirsch Hadorn 2014). Ceci cadre parfaitement avec notre problématique (Vaz, Kueffer et al. 2017) mais n'est

peut-être pas généralisable à toutes les recherches. La coordination par une unité de recherches de l'Irstea (devenu INRAE depuis le 1er janvier 2020), soit un institut avec une forte vocation d'expertise et d'évaluation des politiques publiques, est cohérente avec ce positionnement. Cela a assuré à nos partenaires de travailler avec des interlocuteurs conscients de leurs problématiques et de leurs contraintes institutionnelles et techniques. Reconnaissons, enfin, que cette "prise" étroite avec les préoccupations locales éloigne, presque de facto, le projet AquaVIT des appels à financement classiques de la recherche (type ANR), lesquels placent, très souvent, les considérations empiriques et partenariales au second plan. De ce point de vue, un programme tel que PSDR-CCRRDT constitue donc une source précieuse d'échanges et de financement, a fortiori lorsqu'on entend développer des approches critiques et hétérodoxes. Sa durée (5 ans) constitue un autre point fort, qui nous a permis une bonne adaptation aux besoins des partenaires. A l'avenir, nous ne pouvons donc que souhaiter la poursuite du programme PSDR-CCRRDT, qui doit absolument conserver une ambition scientifique forte, en espérant également y voir se développer le nombre de projets sur les thématiques environnementales (peut-être encore trop peu présentes à ce jour).

Actions de valorisation vers le monde socio-économique

- *Publications*

Le Floch S. and Ginelli L. (submitted). The victorious battles of the lost war against aquatic invasive plants. 'Fluid' categories and multiple forms of management. *Transactions of the Institute of the British Geographers*

Anschutz P., Quenault F., Buquet D., Charbonnier C., Hoffmann F. (2020) « Gestion des milieux et qualité des eaux : le cas du territoire des lacs médocains » in *La chaîne des lacs et étangs du littoral aquitain*, édité par L'Agence de l'Eau, Adour Garonne. Presses Universitaires de Bordeaux, à paraître.

Charbonnier C., Anschutz P. « Nouvelles connaissances sur le fonctionnement biogéochimique des grands lacs landais. » In : *La chaîne des lacs et étangs du littoral aquitain*, édité par L'Agence de l'Eau Adour Garonne. Presses Universitaires de Bordeaux, à paraître.

Canredon A., Anschutz P., Buquet D., Charbonnier C., Amouroux D., Tessier E., Poirier D., Bujan S., Devaux L., Gouillieux B., Gentès S., Legeay A., Feurtet-Mazel A., Galaup S., Maury-Brachet R. (2019) « Lake sediment mercury biogeochemistry controlled by sulphate input from drainage basin ». *Applied Geochemistry* 104, 135–145

Bertrin V., Boutry S., Alard D., Haury J., Jan G., Moreira S., Ribaud C. (2018). Prediction of macrophytes distribution: the role of natural vs anthropogenic physical disturbances. *Applied Vegetation Science*. 21, 395-410

Ribaud C., Tison-Rosebery J., Buquet D., Jan G., Jamoneau A., Abril G., Anschutz P., Bertrin V. (2018). Invasive Aquatic Plants as Ecosystem Engineers in an Oligo-Mesotrophic Shallow Lake. *Frontiers in Plant Science*. 9, 1781

Bertrin V., Boutry S., Jan G., Ducasse G., Grigoletto F., Ribaud C. (2017). Effects of wind-induced sediment resuspension on distribution and morphological traits of aquatic weeds in shallow lakes". *Journal of Limnology* 76(s1): 84-96

Jamoneau A., Jan G., Petitcollin T., Ribaud C. (2017). Biomass as a proxy for available surface area in freshwater macrophytes: influence of seasonality. *Aquatic Botany* 142: 91-95

- *Communications (conférences)*

Dehez (2020), « Innovations territoriales et lutte contre les invasions biologiques. L'exemple des lacs Aquitains », communication acceptée au 57e colloque de l'Association Française de Sciences régionales en Langues Françaises, Avignon, repoussé en 2021

Bertrin, V. (2019). Biodiversité végétale aquatique, changement climatique et activités humaines. #Tester Demain 2019, C2D, Bordeaux Métropole.

Anschutz P., Ribaud C., Bertrin V., Rosebery J., Rossi L., Bujan S., Corrège T., Gouillieux B., Devaux L., Poirier D., Charbonnier C. (2019) Effect of invasive hydrophytes on lake benthic biogeochemistry. 11 Symposium for European Freshwater Sciences, Zagreb *Guides méthodologiques, fiches méthode et cas d'étude*

Dehez (2019), « projet AquaVIT : quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières des lacs Aquitains », Journée d'étude régionale Observation et recherches interdisciplinaires pour une recherche adaptative des littoraux de nouvelle Aquitaine, 3 Septembre 2019, OASU, Université de Bordeaux.

Dehez J., Le Floch S., Ginelli L. (2018), "Involving recreational users in environmental management: invasive aquatic plants in lakes on France's Atlantic coast", in Dehez J. Ginelli L. Lambert G. (eds.), Place, Recreation and Local Development. Proceeding of the 9th International Conference on Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas, Bordeaux, France, p.297-299.

Cristina C., Rosebery J., Bertrin V. (2017). Aquatic weeds as ecosystem engineers of shallow lakes. Functional Ecology and Ecosystem 2017. Toulouse, France

Ribaud C., Poli A., Jan G., Abril G., Anschutz P., Bertrin V. (2016). "Relation entre hypoxie, émissions de GES et force du vent dans les herbiers denses d'hydrophytes dans les lacs". Oral, JILO 2016 – Saint Malo (France)

Ribaud C. 2016. "Les hydrophytes exotiques envahissantes: plusieurs approches, plusieurs regards". Poster, JILO 2016 – Saint Malo (France)

Dehez (2016), "projet AquaVIT: une démarche pluridisciplinaire pour étudier les constructions territoriales à enjeu environnemental », Ecole Chercheur PSDR4, 15-18 Novembre 2016, Toulouse et Aspet

- *Autres*

Dehez J. (2019), L'économie des loisirs de nature ou la co-production d'un service récréatif. Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger les recherches (HDR) en économie soutenue publiquement le 13 mai 2019. Université de Bordeaux.

Bertrin V. (2018), Écologie et déterminisme physique des peuplements de macrophytes dans les lacs naturels peu profonds. Application aux grands lacs du littoral aquitain de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse (Gironde, Landes), thèse soutenue le 17 décembre 2018 pour l'obtention du doctorat d'écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux.

- *Organisation de manifestations scientifiques*

« Journée d'étude régionale Observation et recherches interdisciplinaires pour une recherche adaptative des littoraux de nouvelle Aquitaine », 3 Septembre 2019, OASU, Université de Bordeaux

“9th International Conference on Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas - Place, Recreation and Local Development”. 24-28 August, Bordeaux, France.

- *Journées thématiques et ateliers*

Participation aux Journées Techniques « Chaîne des Lacs et Étangs du littoral Aquitains », organisée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, à Biscarrosse, les 17-18 octobre 2018. Présentation invitée de Cristina Ribaud sur le thème de « Le fonctionnement des lacs révélés par les plantes aquatiques ».

Présentation invitée de Vincent Bertrin sur le thème « Les macrophytes indigènes et exotiques : mieux connaître pour mieux gérer » (en collaboration avec A. Zuazo de Géolandes)

Présentation de Vincent Bertrin sur les recherches en écologie végétale appliquées aux lacs du littoral aquitain, à l'occasion du séminaire « au fil de l'eau entre terres et lacs : enjeux, obligations, moyens ? » organisé par la ville de Biscarrosse, le 25 mars 2017.

Animation de la réunion inter-SAGE, Université de Bordeaux, 18 janvier 2017

- *Guides méthodologiques, fiches méthode et cas d'étude*

Dehez (2020), Analyse de la fréquentation sur le lac d'Aureilhan (Landes)- Partie I : pratiques et attentes, mars 2020, INRAE Bordeaux.

- *Supports audiovisuels*

Participation au reportage télévisé « Enquête : les plantes envahissantes » (Vincent Bertrin), JT France 2, diffusé le 8 juillet 2017.

- *Supports interactifs (jeux sérieux...)*

Le jeu-Quizz « AQUAVIT » (58 questions.) a été présenté par J. Dehez, J. Rosebery et G. Lambert à plusieurs occasions dont à :

- la Nuit européenne des chercheurs le 28 septembre 2018, un événement impulsé par la Commission Européenne, déployée dans plus de 100 villes en Europe dont 12 villes en France. A Bordeaux cette Nuit a été organisée par Cap Sciences, l'Université de Bordeaux et l'Université Bordeaux Montaigne¹¹. Près de 900 visiteurs ont été accueillis sur le site Bordelais, avec une présence importante sur les réseaux sociaux (#nuitschercheurs)

- la Fête la Science, dans le cadre du parcours Bordelais, atelier « eau » co-organisé par Irstea et le Labex COTE, le 11 octobre 2018 et le 10 Octobre 2019. Plusieurs classes accueillies de la 5e à la 1ère

- *Cours et modules de formation*

Stages et encadrement :

- Stage de M2 de Léna Rossi « Origine de la matière organique sédimentaire des lacs aquitains »
- Rossi L. (2017), « Flux de phosphore dans le lac de Parentis-Biscarrosse », mémoire M1, Université de Bordeaux, encadré par P. Anschutz
- Projet tutoré INP-ENSEGID de CHABENAT Audrey et GAMAIN Manon (C. Ribaud, G. Jan, V. Bertrin, février-mai 2018)
- Projet tutoré INP-ENSEGID de MAURO Valentin et NAULIN Nicolas (C. Ribaud, février-mai 2019).
- Stage M2 - Poli A., 2016. Sciences de la Terre et Environnement, Ecologie, Université de Bordeaux.
- Stage M2 – Canredon A. 2016. Master mention Sciences de la Mer.
- Stage M2 – Marechal T. 2019. Master Modélisation des Systèmes Ecologiques (MSE)

Cours et enseignement :

- Cours et TP Master 1 BEE (Université de Bordeaux) (G. Jan, V. Bertrin), Années universitaires 2018, 2017, 2016
- Cours et TP Master 2 BEE (Université de Bordeaux) (G. Jan, V. Bertrin), Années universitaires 2018, 2017, 2016
- Cours et TP École d'ingénieurs INP-ENSEGID (C. Ribaud, G. Jan, V. Bertrin), Années universitaires 2018, 2017

- *Mobilisation de résultats pour l'expertise territoriale (diagnostics, prospectives...)*

SIAEBVELG, Carcans, 5 juin 2019, Présentation invitée de Vincent Bertrin sur le thème « Ecologie et gestion des végétaux aquatiques dans les lacs médocains »

SAGE Born et Buch, Parentis, Janvier 2019, V. Bertrin, J. Dehez

SAGE Lacs Médocains, Carcans, mars 2018, V. Bertrin

SAGE Born et Buch, Sanguinet, avril 2018, C. Ribaud, V. Bertrin

Participation à la Réunion publique, SAGE des Lacs Médocains, à Lacanau, le 5 octobre 2018. Présentation invitée de Vincent Bertrin sur le thème de « État des connaissances sur les végétaux aquatiques à caractère envahissant dans les lacs aquitains ».

Syndicat Mixte Géolandes, Biscarrosse, Février 2017, J. Dehez

Syndicat Mixte Géolandes, Soustons, Février 2017, J. Dehez, L. Ginelli

Chantier d'arrachage, Soustons, Juin, 2017, J. Dehez, L. Ginelli

SAGE Lacs Médocains, Carcans, juin 2017, V. Bertrin

Syndicat Mixte Géolandes, Seignosse, décembre 2017, V. Bertrin

Comité de pilotage « plante invasives » du SIEBVELG (Carcans, 11/03/2016)

Commission locale de l'eau (Carcans 16/12/2016)

SAGE Lacs Médocains, Carcans, 11/03/2016, Présentation invitée de C. Ribaud et V. Bertrin sur le thème de « Etat des connaissances sur les végétaux aquatiques des lacs médocains »

Conclusions et perspectives

Au-delà de la question des invasions biologiques, les recherches développées au sein du projet AquaVIT nourrissent finalement une réflexion plus générale, sur l'analyse des problèmes environnementaux contemporains (Liu, Dietz et al. 2007). Si les discussions relatives au renforcement de la pluridisciplinarité insistent souvent sur l'intérêt d'accorder une plus grande place aux sciences sociales (Shackleton, Larson et al. 2019), nous pensons, en ce qui nous concerne, que ces travaux sont également une occasion de réfléchir à une meilleure intégration des processus écologiques et environnementaux au sein des Sciences Humaines, en particulier dans les approches territoriales, lesquelles, reconnaissons-le, n'abordent ces sujets, qu'à la marge (Beurain et Longuépée 2006, Torre et Zuideau 2009, Dehez et Banos 2017).

Le travail mené dans AquaVIT nous rappelle, si besoin était de le faire, que la matérialité des processus et que l'espace (géographique) comptent. Dans ce projet, nous l'avons vu à travers l'effet des contextes physiques et écologiques (exposition aux vents, pentes, substrats...), aux types de plantes ainsi qu'à leurs effets sur les usages, à leur dispersion potentielle via des réseaux hydrologiques. Ces facteurs naturels ne font pas que mettre les acteurs en relation (Beurain et Longuépée 2006), ils jouent également sur la construction des représentations, des attitudes et, *in fine*, des organisations et des institutions.

Les analyses territoriales ont tout à gagner à s'ouvrir à ces questionnements. Dans AquaVIT, nous avons d'ailleurs montré qu'elles se prêtaient parfaitement aux croisements entre les Sciences Humaines et Sociales, et les Sciences de l'Environnement, puisque c'est bien autour de la nécessaire "contextualisation" de la gestion du problème, que les partenaires (scientifiques et socio-économiques) se sont retrouvés. La crise sanitaire générée aujourd'hui par le Covid 19, nous rappelle combien les sociétés humaines, pour une large part bâties sur les échanges et les mobilités, deux des principales sources du développement des invasions biologiques (Kueffer 2013), ne peuvent plus durablement occulter ces connections.

Il nous paraît ainsi nécessaire de poursuivre les approches pluridisciplinaires autour de problématiques environnementales telles que les invasions d'espèces. Concernant les lacs aquitains nous comptons maintenir nos efforts en ce sens, et envisageons de nous retrouver autour d'un site dédié, dans une logique de « zone atelier ».

Références

- Anderies J. M., Janssen M. A., Ostrom E. (2004), "A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective", *Ecology and Society*, 9(1): 18. [on line] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol19/iss1/art18>).
- Barker, K. (2008), Flexible boundaries in biosecurity: accomodating gorse in Aotearoa New Zealand, *Environment and Planning A*, 40, 1598-1614.
- Beaurain C., Longuépée J. (2006), "Dynamique territoriales et proximités environnementale : le cas du risque d'inondation ", *Développement durable et Territoires [en ligne]*, 7, mis en ligne le 10 mai 2006. URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/2612> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.2612.
- Bernard V., Dehez J., Régnac P., Rocle N., Salles D., Vaucelle C. (2013), "Enjeux sociétaux: vulnérabilité face au changement climatique" in Le Treut H. (coord), *Les impacts du changement climatique en Aquitaine. Un état des lieux scientifique*, Presses universitaires de Bordeaux LPG-A-Edition, p.71-88.
- Bertrin, V.; Lanoiselée, C.; Barbe, J.; Bonnard, R.; Philippe, M.; Dutartre, A.; Argillier, C.; Guibert, A. & Irz, P. (2007). Application de l'outil SEQ plans d'eau sur différents types de lacs situés dans la circonscription du district Adour-Garonne : Etang de Soustons (40), Lac de Cazaux-Sanguinet (33 / 40), Retenues de Miélan (32), Laouzas (81), Filleit (09). Cemagref
- Bertrin, V.; Dutartre, A.; Caro, A.; Boutry, S.; Moreira, S. & Jan, G. (2012). Communautés végétales aquatiques des lacs médocains. Cemagref
- Bertrin, V., Boutry, S., Dutartre, A., Lambert, (2013). Communautés de Characées des lacs médocains (Sud-Ouest de la France). Eléments d'écologie et de distribution: Characeae communities in the Medoc area lakes (South-West France). Elements of ecology and distribution. *Acta Botanica Gallica* 160: 131-140.
- Bertrin, V. (2018). Écologie et déterminisme physique des peuplements de macrophytes dans les lacs naturels peu profonds. Application aux grands lacs du littoral aquitain de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse (Gironde, Landes). Ecole doctorale sciences et environnements, ED 304, spécialité écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés.
- Bertrin, V.; Boutry, S.; Dutartre, A. & Lambert, E. (2013). Characeae communities in the Medoc area lakes (South-West France). Elements of ecology and distribution *Botany Letters*, 160, 131-140
- Bertrin, V.; Ribaud, C.; Boutry, S.; Jan, G.; Moreira, S. & Dutartre, A. (2014). Recherches appliquées à la gestion : les macrophytes exotiques envahissants des lacs et étangs dulittoral aquitain. Forum COTE 2014 - Vivre avec des invasions biologiques ?, 19/09/2014-19/09/2014, Bordeaux, FRA.
- Bolpagni, R., E. Pierobon, D. Longhi, D. Nizzoli, M. Bartoli, M. Tomaselli, and P. Viaroli. (2007) "Diurnal exchanges of CO₂ and CH₄ across the water-atmosphere interface in a water chestnut meadow (*Trapa natans* L.)". *Aquatic Botany* 87: 43-48
- Chamier, J., K. Schachtschneider, D.C. Le Maitre, P.J. Ashton, and B.W. van Wilgen. (2012) "Impacts of invasive alien plants on water quality, with particular emphasis on South Africa". *Water SA* 38 (2): 345-356
- Claeys, C. (2013), Biological invasions as cause and consequence of 'our'changing world. In S. Lockie, D.A. Sonnenfeld & D.R. Fisher (Eds), *Routledge International Handbook of Social and Environmental Change* (pp. 280-291). London, UK: Routledge.

- Dehez J. (2019), *L'économie des loisirs de nature ou la co-production d'un service récréatif*, Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger les recherches (HDR) en économie soutenue publiquement le 13 mai 2019, Université de Bordeaux.
- Dehez J. (2013), *Etude préalable au renouvellement du site Plan Plage du Vivier; des plages Nord et Sud à Biscarosse (40) - Phase 1 diagnostic, volet socio-économique*, étude Irstea 156, Centre de Bordeaux.
- Dehez J., Banos V. (2017), "Le développement territorial à l'épreuve de la transition énergétique. Une première exploration à partir du cas du bois énergie", *Géographie, économie et société*, 19, p.109-131.
- Dehez J., Lyser S. (2008), *Les loisirs en forêt d'Aquitaine, partie 1.*, mars 2008, étude Cemagref n°121, Bordeaux.
- Delbart, E., Mahy, G., Weickmans, B., Henriot, F., Crémer, S., Pieret, N., Vanderhoeven, S., Monty A. (2012), Can land managers control Japanese Knotweed ? Lessons from Control Tests in Belgium, *Environmental management* 50 (6), 1089-1097.
- Dutartre, A.; Delarche, A. & Dulong, J. (1989). Plan de gestion de la végétation aquatique des lacs et des étangs landais. Cemagref.
- Dutartre, A. & Oyarzabal, J. (1993), Gestion des plantes aquatiques dans les lacs et les étangs landais, *Hydroécologie Appliquée*, 5, 43-60.
- Dutartre, A.; Leveau, D. & Moreau, A. (1997). Suivi du développement des plantes aquatiques exotiques : propositions d'interventions - Lac de Cazaux-Sanguinet et de Parentis-Biscarosse : campagne 1997. Cemagref.
- Dutartre, A. (2002) "Evolutions récentes des communautés végétales riveraines des lacs et étangs landais". In Séminaire européen gestion et conservation des ceintures de végétation lacustre Life - nature programme Lac du Bourget, 23-24-25 octobre 2002; Le Bourget du Lac, 59-79. Le Bourget du Lac: Conservatoire du patrimoine naturel de la Savoie.
- Dutartre, A. (2002). Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques : nuisances, usages, techniques et risques induits. *Ingénieries - E A T*, 29-42.
- Dutartre, A. (2007). Plantes rares et protégées des plans d'eau aquitains Adour Garonne, 12-14.
- Dutartre, A. & Menozzi, M. (2008). De la gestion des plantes aquatiques envahissantes : intervenir pour quoi, pour qui, avec quelles modalités ? Ou comment agir malgré la variabilité des situations et des enjeux : application à la gestion des jussies. *Edisud*, 371-382
- Ginelli L. (2017), *Jeux de nature, nature en Jeux. Des loisirs aux prises avec l'écologisation des sociétés*, EcoPolis, Peter Lang, Bruxelles.
- Grieshaber M. K., I. Hardewig, U. Kreutzer, H.-O. Pörtner, (1994), "Physiological and metabolic responses to hypoxia in invertebrates". *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 125: 43-147
- Gusfield, J. R. (1996), *Contested meanings: The construction of alcohol problems*, Madison, USA: The University of Wisconsin Press.
- Head, L., Atchison, J. & Phillips, C. (2014), The distinctive capacities of plants: re-thinking difference via invasive species, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 40, 399-413.
- Head, L. (2017), The social dimensions of invasive plants, *Nature Plants*, 3. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.75>
- Jones, R. (2009), Categories, borders and boundaries, *Progress in Human Geography*, 33, 174-189.
- Mazzeo, N., L. Rodríguez-Gallego, C. Kruk, M. Meerhoff, J. Gorga, G. Lacerot, F. Quintans, M. Loureiro, D. Larrea, and F. García-Rodríguez. (2003), "Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish". *Hydrobiologia* 506-509: 591-602
- Menozzi, M.-J. (2010), Comment catégoriser les espèces exotiques envahissantes, *Etudes rurales*, 185, 51-66.

- Miranda, L.E., and Hodges, K.B. (2000) “Role of aquatic vegetation coverage on hypoxia and sunfish abundance in bays of a eutrophic reservoir”. *Hydrobiologia*, 427(1): 51–57. doi:10.1023/A:1003999929094
- Miranda L.E., M.P. Driscoll and M.L. Allen (2000), “Transient physicochemical microhabitats facilitate fish survival in inhospitable aquatic plant stands” *Freshwater Biology* 44: 617–628
- Mora O., Banos V., Carnus J.-M., Regolini M. (éditeurs) (2012), *Le massif des Landes de Gascogne à l'horizon 2050, Rapport de l'étude prospective*, Conseil régional d'Aquitaine-INRA,
- Raun A.L., Borum J. & Sand-Jensen K. (2010) Influence of sediment organic enrichment and water alkalinity on growth of aquatic isoetid and elodeid plants. *Freshwater Biology*, **55**, 891–1904.
- Ribaudo, C., Bertrin, V., & Dutartre, A. (2014). Dissolved gas and nutrient dynamics within an *Egeria densa* planch. bed. *Botany Letters* 161:233–241
- Ribaudo, C., Jan, G., Bertrin, V. (2015). Interactions entre macrophytes et qualité de l'eau : le cas des isoétides et des exotiques dans les lacs aquitains. Rapport CARMA, 40 p.
- Ribaudo, C., Jan, G., Bertrin, V. (2016). Distribution spatiale des herbiers d'hydrophytes exotiques dans les grands lacs aquitains. Rapport CARMA, 35 p.
- Ribaudo, C., Tison-Rosebery, J., Buquet, D., Jan, G., Jamoneau, A., Abril, G., ... & Bertrin, V. (2018). Invasive aquatic plants as ecosystem engineers in an Oligo-Mesotrophic shallow lake. *Frontiers in plant science*, 9, 1781.
- Robbins, P. (2001), Fixed categories in a portable landscape : the causes and consequences of land-cover categorization, *Environment and Planning A*, 33, 161-179.
- Torre A., Zuideau B. (2009), "Les apports de l'économie de la proximité aux approches environnementales: inventaires et perspectives", *Nature Sciences et Sociétés*, 17(2009), p.349-360.
- Vaz A. S., Kueffer C., Kull C. A., Richardson D. M., Schindler S., Munoz-Pajares A. J., Vicente J. R., Martins J., Hui C., Kühn I., Honrado J. P. (2017), "The progress of interdisciplinarity in invasion science", *Ambio*, 46, p.428-442.
- Verberk W.C.E.P., Bilton D.T., Calosi P., Spicer J.I.(2011) “Oxygen supply in aquatic ectotherms: partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns”. *Ecology*, 92: 1565-1572
- Viaroli P. and R.R. Christian (2004), “Description of trophic status, hyperautotrophy and dystrophy of a coastal lagoon through a potential oxygen production and consumption index—TOSI: Trophic Oxygen Status Index”, *Ecological Indicators*, 3(4): 237-250
- Woods, M. & Moriarty, P.V. (2001), Strangers in a strange world : the problem of exotic species, *Environmental Values*, 10, 2, 163-191.
- Zilius, M., M. Bartoli, M. Bresciani, M. Katarzyte, T. Rignis, J. Petkuvienė, I. Lubiene, C. Giardino, P.A. Bukaveckas, R. de Wit & A. Razinkovas-Baziukas, (2014) “Feedback mechanisms between cyanobacterial blooms, transient hypoxia, and benthic phosphorus regeneration in shallow coastal environments”. *Estuaries and Coasts* 37: 680–694

LIVRET 1

Résultats détaillés du projet AquaVIT : approches biogéochimiques et hydrodynamiques

Contributeurs :

- INRAE (ex-Irstea), Equipe ECOVEA : Vincent BERTRIN (IE), Cristina RIBAUDO (IR Irstea + Postdoc EPOC), Gwilherm JAN (TR), Mélissa EON (AI), Théo MARECHAL (Stagiaire M2), Maud PIERRE (IE), Juliette ROSEBERY (DR)
- Université de Bordeaux, Laboratoire EPOC, Equipe ECOBIOC : Pierre ANSCHUTZ (PR), Céline CHARBONNIER (IR), Dominique POIRIER (AI), Stéphane BUJAN (IE)

1. Enjeux et problématique, état de l'art

Les plantes aquatiques invasives (ou hydrophytes envahissants), telles que *Egeria densa* Planch. et *Lagarosiphon major* (Ridl.) Moss, sont présentes dans toutes les régions tempérées (Chamier et al., 2012) ; elles présentent des taux de croissance élevés et des modalités de dispersion rapide qui leur assurent d'excellentes aptitudes à la colonisation (Barrat-Segretain et al., 1998 ; Winton et Clayton, 1996 ; Mazzeo et al., 2003). Les milieux aquatiques peu profonds sont particulièrement colonisés par les macrophytes submergés envahissants (Mazzeo et al., 2003 ; Rodrigues et Thomaz 2010). Ainsi dans les lacs aquitains, ces plantes sont abondantes notamment dans les anses, criques, baies et diverticules des rives occidentales à l'abri des vents dominants (Dutartre, 1996 ; Dutartre, 2002 ; Bertrin et al., 2017).

Différentes problématiques d'ordre écologique sont en lien avec la présence des plantes aquatiques invasives, telles que la diminution de la biodiversité végétale et animale (par exemple, au niveau des populations de poissons, Miranda et Bodges, 2000, ou de la compétition avec les espèces autochtones, Raun et al., 2010). Peu de travaux ont concerné l'étude de l'impact des hydrophytes envahissants sur la qualité des eaux et sur le cycle des nutriments (Miranda et Bodges, 2000 ; Miranda et al., 2000). Pourtant, compte tenu de la biomasse considérable que représentent les herbiers, ces plantes submergées pourraient avoir des effets similaires à ceux liés à la présence des macrophytes flottants (Rai et Munshi, 1979 ; Bolpagni et al., 2007 ; Chamier et al., 2012) : tout d'abord, en présence d'un herbier très dense, l'oxygène consommé par les processus de respiration pourrait ne pas être compensé par diffusion depuis l'atmosphère (Miranda et Bodges, 2000 ; Ribaud et al., 2014). Cette situation génère une production très élevée de méthane et d'ammonium au niveau des sédiments (Ribaud et al., 2014), pouvant contribuer aux émissions de gaz à effet de serre (GES) et à une toxicité du milieu pour les poissons (Randall et Tsui, 2002). L'accumulation de matière organique et le manque d'oxygénation sont également susceptibles d'engendrer la désorganisation des processus bactériens comme la nitrification-dénitrification (Bodelier et al., 1996 ; Wilcock et al., 2010). Ainsi la présence d'hydrophytes envahissants crée potentiellement un milieu où l'accumulation progressive de biomasse végétale nuit à l'oxygénation des eaux et à la mobilisation naturelle des nutriments dans la colonne d'eau. Cependant, les conditions hydrodynamiques et morphologiques locales peuvent également influencer ce processus : il se peut que la diminution de la quantité d'oxygène dans certaines zones des lacs soit compensée par le brassage des eaux causé par à l'action du vent. De plus, les nutriments libérés en excès durant ces phases d'hypoxie (ammonium ou méthane), comparés à ceux assimilés par les plantes durant les cycles biogéochimiques locaux, pourraient être dilués par les courants ou, au contraire, concentrés en raison de la stagnation des eaux.

L'action des vagues est un paramètre complexe, donnant lieu à un mouvement orbital de l'eau dont l'amplitude diminue exponentiellement avec la profondeur (Laenen et LeTourneau, 1996). Ces mouvements d'eau et, par conséquent les forces qui en résultent, prennent la forme de courants

oscillatoires horizontaux et verticaux. L'action des vagues, par l'intermédiaire de ces courants, peut donc avoir un effet direct sur la biomasse végétale par fragmentation, affaiblissement ou déracinement des plantes (Schutten et al. 2005). En revanche, une forte densité de tiges peut limiter la circulation des courants et participer à la stabilisation des particules en suspension au sein des herbiers d'hydrophytes (Carpenter et Lodge, 1986 ; Madsen et al. 2001). Il est donc urgent de comprendre le lien entre les processus biogéochimiques, la densité des herbiers et les conditions hydromorphologiques locales, afin de localiser les zones où la fréquence d'évènements de sous-oxygénation est importante de manière à orienter les interventions de gestion dans les sites les plus sensibles.

L'aspect innovant du projet AquaVIT du point de vue écologique consiste en l'utilisation de la concentration en oxygène comme indicateur de la qualité de l'eau en fonction des conditions hydrodynamiques locales. L'occurrence d'épisodes de sous-oxygénation (<50% de saturation) représente un critère utile afin de définir quelles sont les caractéristiques des herbiers qui conservent un fonctionnement normal (Zilius et al., 2014). Notamment, l'oxygène dissous est un paramètre intégrateur, indicateur à la fois de biodiversité et de fonctionnement bactérien (Griesshaber et al., 1994 ; Viaroli et Christian, 2004 ; Verberk et al., 2011). Dans notre cas, la relation entre la concentration de l'oxygène mesuré dans l'herbier et les conditions hydrodynamiques, fournira le paramètre central d'une modélisation de la qualité de l'eau en fonction du degré de colonisation par les plantes invasives et des caractéristiques hydrologiques (Muhammetoğlu et Soyupak, 2000 ; Bradshaw et al., 2014). Le suivi de la qualité de l'eau dans les herbiers de macrophytes sera couplé aux mesures des flux benthiques, dans le but de décrire l'état trophique du sédiment en présence des plantes invasives submergées (Viaroli et al., 2004). Par l'étude de la relation entre les flux benthiques, la température de l'eau et la biomasse végétale, il a été possible d'appréhender l'impact des invasions de macrophytes de façon très intégrée, et transposable méthodologiquement à d'autres systèmes naturels similaires.

Le volet 4 vise donc à évaluer les interactions plantes-eau-sédiment à travers une approche couplée entre biogéochimie, écophysiologie végétale et hydrodynamique. Les actions développées pendant le projet sont :

- description de la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie, en termes d'oxygénation et de rejet de carbone à l'échelle saisonnière, à l'aide de prélèvements ponctuels d'eau ;
- description de la qualité des sédiments et leur enrichissement en matières organiques dans des sites colonisés et dans des sites dépourvus de plantes à l'échelle saisonnière, à l'aide de prélèvements ponctuels de sédiment ;
- description de l'influence des conditions d'hydrodynamisme local sur l'oxygénation de l'eau, en présence/absence d'herbiers denses, à l'aide de sondes autonomes.

2. Approche scientifique et technique

Les lacs étudiés

Les campagnes de terrain ont été menées sur deux plans d'eau particulièrement concernés par des développements d'herbiers denses d'hydrophytes exotiques envahissants. Il s'agit des lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse où les biomasses et les superficies colonisées par *Lagarosiphon major* et *Egeria densa* sont significativement élevées (total de 400 tonnes et 1,2 km² estimés en 2014 dans le lac de Lacanau ; total de 2785 tonnes et 4,2 km² estimés en 2015 dans le lac de Parentis-Biscarrosse ; Bertrin et al., 2017). Initialement, les lacs de Carcans-Hourtin et de Cazaux-Sanguinet devaient faire l'objet de suivis dans le cadre du projet AquaVIT. Cependant, les faibles biomasses végétales et les superficies colonisées observées dans ces deux plans d'eau, n'auraient pas permis la mise en œuvre des analyses réalisées dans ce projet. Ainsi, compte tenu des données disponibles sur l'état des colonisations végétales exotiques dans les grands lacs du littoral aquitain (Bertrin et al. 2017), les lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse ont été retenus pour la réalisation des suivis et expérimentations présentés ci-après.

E. densa et *L. major* ne présentent pas les mêmes dynamiques spatiales et temporelles. Les premiers herbiers denses à *Lagarosiphon major* ont été observés pour la première fois dans le lac de Lacanau en 1986 (Dutartre, 1988) et 1976 dans le lac de Parentis-Biscarrosse (Dutartre et Oyarzabal 1993). Les introductions d'*Egeria densa* sont relativement récentes, cette dernière a été observée pour la première fois en 1993 dans le lac de Lacanau (Castagnos et Dutartre, 2001) et en 2006 dans le lac de Parentis-Biscarrosse. Pour ces deux lacs, il semble qu'aux herbiers denses monospécifiques à *Lagarosiphon major* observés depuis les années 1980, ont succédé progressivement, à partir des années 2010, des herbiers dont la composition spécifique associe *L. major* et *E. densa*, voire uniquement des herbiers monospécifiques à *E. densa* (Bertrin, 2018).

Certains secteurs de ces lacs font régulièrement l'objet d'une régulation du développement de ces herbiers denses. Cette gestion est réalisée par moissonnage direct (bateau-moissonneur) ou indirect (faucardage des plantes suivi d'un ramassage des débris à partir de différentes embarcations) des plantes, principalement dans les haltes nautiques et les zones d'accès à celles-ci, ainsi que dans certains secteurs où les plantes génèrent des nuisances importantes pour la pratique des loisirs récréatifs (club de voile, baignade).

Les lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse font partie de la même « famille » de plans d'eau, dont l'origine naturelle est relativement récente, principalement liée au barrage des petits cours d'eau du plateau landais par le cordon dunaire du littoral Atlantique apparu au cours de l'Holocène. Les particularités morphologiques de ces plans d'eau sont présentées dans le tableau 1. Leur substrat est principalement constitué de sables éolisés (sable des Landes) associés à de l'oxyde de fer en faible proportion. Ces lacs possèdent des analogies (altitude, alcalinité, profondeur moyenne) qui les rapprochent de certains lacs naturels d'Europe du Nord nommés *Lobelia lakes* (Portielje et al., 2014).

Tableau 1 : Principales caractéristiques des lacs de Lacanau et de Parentis-Biscarrosse. Le niveau trophique est donné sur la base des critères O.C.D.E (Laplace-Treytore et al., 2016 ; SIE Adour-Garonne, 2020)

	Altitude (m)	Superficie (km ²)	Prof. moyenne (m)	Prof. maximale (m)	Volume (10 ⁶ m ³)	Distance à l'océan (km)	Longueur maximale (km)	Largeur maximale (km)	Niveau trophique
Lacanau	13	16,2	2,4	7,3	59	7,3	7,7	3	Méso-eutrophe
Parentis-Biscarrosse	21	31,9	7,4	20,7	418	8,7	9	8,4	Méso-eutrophe

Mesure des flux sédimentaires et de la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie

Les méthodes utilisées dans le projet ont concerné l'analyse de l'impact de la présence des macrophytes envahissants sur les dynamiques des gaz et des nutriments dissous dans les sites colonisés. Cette investigation a été menée à travers deux axes principaux de recherche : le premier dédié aux processus sédimentaires, le deuxième dédié à la description des impacts sur la qualité de l'eau. Les deux axes s'attachant à comprendre et quantifier l'effet lié à la présence des herbiers, les activités de recherche ont été également menées sur des sites dépourvus de plantes invasives à la limite extérieure des herbiers.

Dans l'ensemble, les campagnes d'échantillonnage ont été menées entre juillet 2013 et septembre 2018 ; dès la deuxième année du projet, une partie du temps a été consacrée à l'analyse des données, à la publication des résultats et aux campagnes de communication envers le public et les gestionnaires. Les sites d'échantillonnages ont été choisis suivant les investigations préliminaires conduites entre 2013 et 2015 (Ribaud et al., 2016 ; Bertrin et al., 2017), au cours desquelles ont été identifiés des sites dont la flore aquatique comportait 90% de plantes submergées invasives. Des relevés effectués dans la colonne d'eau du lac de Lacanau sur des cycles jour/nuit issus d'études antérieures (Ribaud et

al., 2015 ; Ribaud et al., 2018) ont été insérés dans la présentation des résultats et dans la discussion finale.

La première partie du travail a consisté en une évaluation quantitative des flux à l'interface eau-sédiment et une caractérisation des mécanismes benthiques en présence ou en absence d'herbier. Les différents types de sédiments ont été échantillonnés soigneusement par des plongeurs à l'aide de tube de PVC de 10 cm de diamètre pour obtenir des carottes sédimentaires avec une interface eau-sédiment parfaitement préservée. Les carottes ont été prélevées en hiver (mars) et été 2016 (septembre) pour les points d'échantillonnage du lac de Parentis-Biscarrosse et en hiver (février) et été (septembre) 2018 pour les sites choisis du lac de Lacanau. Nous avons également échantillonné des vases organiques présentes dans les parties profondes des lacs afin de comparer ces vases à celles qui s'accumulaient au niveau des herbiers denses. La présence de ces vases a été mise en évidence lors de campagnes d'échantillonnage avec une benne à sédiment, dont le but était de réaliser une cartographie sédimentaire des lacs (Canredon et al., 2019). L'échantillonnage des carottes au cours d'AquaVIT était limité par les contraintes de disponibilité et de sécurité liées à la météorologie pour l'équipe des trois plongeurs scientifiques d'EPOC. Malgré cela, nous avons pu échantillonner et traiter plus de 20 carottes sédimentaires dans et hors des herbiers et à des saisons contrastées. L'extraction des eaux porales avec une résolution verticale centimétrique a permis d'évaluer les flux diffusifs de nutriments entre le sédiment et la colonne d'eau. Pour cela, les carottes sédimentaires ont été découpées en tranches horizontales dans les deux heures qui ont suivi leur prélèvement. Les sections ont été centrifugées immédiatement après, ce qui a permis de prélever en 5 et 10 mL d'eau interstitielle par niveau. Pour les sédiments fluides, la centrifugation a été réalisée dans un Falcon® de 50 mL rempli entièrement, sans atmosphère résiduelle. Après 15 minutes de centrifugation à 4000 tours/min, l'eau surnageante a été immédiatement filtrée avec un filtre de 0,2 µm en acétate de cellulose puis stockée dans des tubes en polypropylène. Pour les sédiments sableux, la centrifugation (mêmes durée et vitesse que précédemment) a été réalisée dans un VIVASPIN20® contenant un filtre de 0,2 µm. L'eau récupérée a été transvasée directement dans des tubes en polypropylène. L'analyse des composés biogènes dissous (SRP, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , silice dissoute, sulfate, Fe, Mn, DIC, CH_4) et particulaires (C-org, Soufre total, Fe, Mn et P particulaires réactifs) des sédiments a été réalisée dans les semaines qui ont suivi, après avoir conservé les échantillons selon des protocoles standards (Buquet et al., 2017 ; Canredon et al., 2019). Les calculs de flux diffusifs ont été réalisés sur la base de modèles simples basés sur la première loi de Fick à partir de tous les paramètres physico-chimiques mesurés dans les sédiments. Cette partie est en lien étroit avec la thèse de Damien Buquet soutenue en 2017 sous la direction de P. Anschutz qui a consisté à réaliser un bilan de masse des nutriments dans les grands lacs médocains, ainsi que du suivi équivalent pour les grands lacs landais réalisé dans le cadre du projet CLAQH. Le jeu de données issues de ces études complémentaires a permis d'estimer les flux issus des bassins versants et des sédiments. Les données du projet AquaVIT ont permis de prendre en compte les macrophytes dans l'établissement du bilan de masse des éléments biogènes dans les lacs étudiés.

La deuxième partie du travail a consisté à mesurer les nutriments dans la colonne d'eau, pour évaluer le devenir des nutriments diffusés à partir du sédiment. Concrètement pour chaque site, une campagne d'échantillonnage a été menée sur 3 stations végétalisées (dans le texte à suivre « sol végétalisé ») et sur 3 stations dépourvues de végétation (« sol nu »), réparties dans des zones à l'abri du vent et sur de zones exposées au vent, pour un total de 12 stations (figure 1). Sur chaque station, des échantillons d'eau ont été prélevés en triplicatas en plein jour (entre 10h30 et 14h00) à deux niveaux de la colonne d'eau (à -10 cm de l'interface eau-atmosphère « surface », et à +30 cm de l'interface eau-sédiment « fond »), dans le but de décrire les dynamiques juste au-dessous de la surface de l'eau et dans la partie basale de l'herbier, au-dessus du sédiment. Les paramètres mesurés ont été l'oxygène dissous (O_2), le carbone inorganique dissous (DIC et CO_2), le carbone organique dissous (COD), le méthane (CH_4), l'azote inorganique dissous ($\text{DIN} = \text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) et la fraction de phosphore disponible (SRP). Des échantillons de plantes ont été également collectés à l'aide d'un râteau (surface d'échantillonnage = 0,28 m²) afin de réaliser des mesures de biomasse. Chaque cycle de mesure a été répété de façon saisonnière (en hiver, printemps, été et automne).

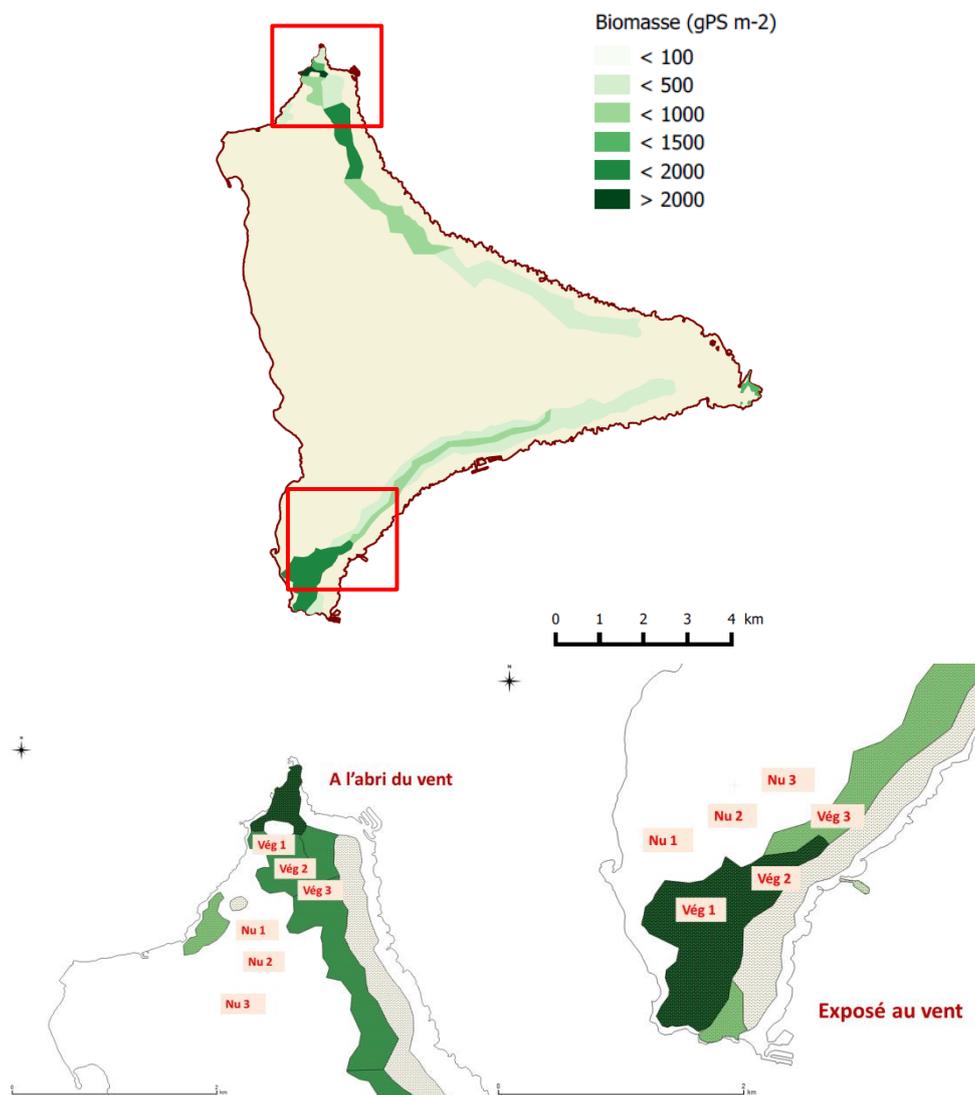


Figure 1 : Positionnement des stations de prélèvement d'eau sur des sites colonisés par les plantes « sol végétalisé – Vég » et dépourvus de plantes « sol nu – Nu » selon les zones d'exposition aux vents et aux vagues faible et forte dans le lac de Parentis-Biscarrosse

Mesure de la dégradation de la matière organique générée par les plantes

Pour mieux comprendre le rôle fonctionnel des deux espèces invasives sur le cycle (formation et dégradation) de la matière organique, deux nouvelles études ont pu être mises en place dans le cadre d'AquaVIT (non prévues dans le projet initial). Les études réalisées jusque-là indiquent que *L. major* et *E. densa* modifient la biogéochimie lacustre à l'échelle locale, en créant une stratification chimique de la colonne d'eau, et à l'échelle du lac, en compensant les émissions de carbone par une fixation sous forme de biomasse très importante. À la production de matière organique particulaire (sous-forme de biomasse), correspond également une libération importante de composés organiques dissous (dont du carbone organique dissous, COD) dans la colonne d'eau (Sondergaard & Moss, 1998). Les études complémentaires réalisées ont ainsi visé à comprendre 1) le rôle de la production de COD par les plantes dans l'explication de leur succès compétitif et 2) dans quelles proportions ces plantes participent aux taux de matière organique relevés dans les sédiments des lacs étudiés.

La production de composés organiques, capable d'influencer potentiellement les relations plante-plante, est en effet certainement centrale dans le processus d'installation des hydrophytes envahissants. Le taux de production de COD propre à chaque espèce stimule aussi d'une façon différente la croissance bactérienne et donc la consommation d'oxygène à travers le processus de

priming effect (Guenet et al., 2010 ; Bianchi, 2011). Le *priming effect* est défini comme l'accélération de la consommation de matière organique peu réactive (réfractaire) suite à l'apport de matière organique très réactive (labile). Certaines études montrent comment l'extrait de macrophytes (« plant leachate »), constitué par des composés labiles, favorise la croissance de bactéries (Findlay et al., 1986 ; de Almeida Assunção et al., 2016 ; Ward et al., 2016). C'est pourquoi dans ce contexte, une étude exploratoire a été initiée en avril 2017 par Irstea, en collaboration avec le LIEC (Université de Metz). Cette étude avait comme objectif de mesurer les taux de production de COD par les deux hydrophytes, en conditions contrôlées. Face aux problématiques écologiques et sociétales que posent les proliférations végétales en plans d'eau, le choix fait ici de faire appel à l'écologie chimique, discipline encore récente et peu appliquée aux milieux aquatiques continentaux, a été particulièrement innovant.

Plusieurs individus de *E. densa* et *L. major* ont été collectés dans le Lac de Lacanau. Au laboratoire, des fragments de plantes de 20 cm ont été coupés et laissés en acclimatation dans l'eau du site de prélèvement pendant une période de 48h. Ensuite, une densité élevée de tiges des deux hydrophytes a été transférée et maintenue pendant 7 jours dans un milieu de culture standard (Smart & Barko, 1985), dans des microcosmes agités (8 L) et maintenus à une température représentative de la période estivale (24 °C). Deux séries de microcosmes ont été préparées, l'une maintenue à un cycle jour/nuit de 14h/10h ($120 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$), l'autre série dans l'obscurité totale, cette dernière condition mimant l'absence de lumière mesurée *in situ* dans les couches profondes des herbiers. Pour chaque condition, 4 modalités ont été testées en triplicats : témoins (milieu de culture), *L. major* seule (à une densité de $1.3 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ L}^{-1}$), *E. densa* seule (à une densité de $1.3 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ L}^{-1}$) et une condition « mixte » avec les deux hydrophytes en proportion 1:1 (sur la base des poids secs). Des échantillons d'eau ont été régulièrement prélevés pour suivre l'évolution temporelle du COD (mg L^{-1}) et les plantes ont été prélevées en fin de suivi afin de réaliser une mesure exacte de poids sec (PS).

Nous avons également réalisé une étude complète de l'origine de la matière organique dans les sédiments des lacs. L'essentiel de la couverture sédimentaire des lacs étudiés consiste en des sables plus ou moins riches en matière organique. Mais ces lacs présentent aussi des dépôts de vases dans lesquelles s'accumule une quantité importante de matière organique réactive. Ces dépôts se font dans les zones profondes et les zones colonisées par les plantes invasives. Ces vases ont un rôle important dans le fonctionnement biogéochimique de ces systèmes aquatiques. C'est pourquoi nous avons voulu connaître l'origine de la matière organique qui les composait. Pour cela nous avons mesuré le $\delta^{13}\text{C}$, le $\delta^{15}\text{N}$ et le rapport C/N de la matière organique des sédiments vaseux, ainsi que des pôles de mélange possibles tels que des sols et litières du bassin versant, des sédiments et particules en suspension des rivières et des lacs et macrophytes aquatiques. Nous avons aussi exploité des données de d^{13}C du carbone inorganique dissous (DIC) dans les lacs pour retracer la matière organique d'origine phytoplanctonique.

Mesure de l'hydrodynamisme au sein des herbiers et en périphérie

La méthodologie de terrain développée pour cette étude a pour principal objectif la description de l'influence des conditions de l'hydrodynamisme local sur l'oxygénation de l'eau, en présence/absence d'herbiers denses dans les lacs aquitains. Ceci s'est traduit par la mise en place de sondes autonomes de mesures de l'oxygène et de la température, et par le calcul d'un indice d'exposition aux vents et aux vagues au niveau de plusieurs stations dans le lac de Lacanau et le lac de Parentis-Biscarrosse.

Tout d'abord, un indice d'exposition à l'action des vagues (Keddy, 1982) a été utilisé pour identifier les zones des lacs les plus exposées aux vents, où l'action des vagues est potentiellement la plus forte, et les zones les plus abritées des vents, où l'action des vagues est potentiellement la plus faible. Cet indice s'appuie sur la relation observée entre le fetch¹ et la vitesse du vent dans une orientation donnée. Il exprime une mesure dynamique liée à la taille des vagues arrivant en un point donné, intégrée sur une période de temps donnée à une résolution de 17 m. Cet indice d'exposition a été

1

Distance en eau libre entre un point du lac et la rive sur laquelle le vent souffle sans obstacle dans une direction donnée

calculé pour chaque station de mesure de l'oxygène et de la température. Les données horaires de vent ont été fournies par Météo France, à Vendays-Montalivet (n°33540001, 45°22'43"N, 1°07'09"W) pour le lac de Lacanau, et à Biscarrosse (n°40046001, 44°25'54"N, 1°14'51"W) pour le lac de Parentis-Biscarrosse. Le calcul des fetchs (package fetchR) et de l'indice de Keddy pour chaque station a été programmé et automatisé par nos soins à l'aide du logiciel R (R Team, 2005). Dans un premier temps, le calcul a été effectué sur la période 2011-2015, de façon à pouvoir identifier un gradient d'hydrodynamisme au sein de chaque lac.

Ensuite, des sondes autonomes de mesures de l'oxygène dissous (saturation et concentration) et de la température de l'eau (optodes HOBO U26 Dissolved Oxygen Data Logger) ont été placées au sein des herbiers denses et dans l'eau libre (respectivement stations « sol végétalisé » et stations « sol nu » dans la suite du document). Ces stations de mesure sont localisées dans des zones exposées aux vents et aux vagues, ainsi que dans des zones protégées de ces perturbations, dans les lacs de Parentis-Biscarrosse et de Lacanau (figure 2). Les sondes ont été positionnées à une profondeur de 3 m (figure 3). Dans le lac de Parentis-Biscarrosse, deux sondes autonomes ont été positionnées au niveau de chaque station de mesure (8 optodes au total, fréquence de mesure de 30 minutes de mai 2016 à juin 2017). Une sonde autonome a été positionnée au niveau de chaque station de mesure dans le lac de Lacanau (4 optodes au total, fréquence de mesure de 30 minutes de septembre 2017 à septembre 2018). La saturation de l'oxygène dissous (O₂%) est une mesure de concentration corrigée pour la solubilité en fonction de la température. Elle permet donc de comparer des conditions d'oxygénation sur de différentes saisons. La saturation exprime la répartition de l'oxygène entre l'eau et l'air en fonction de sa solubilité. Un milieu aquatique est à l'équilibre avec l'atmosphère quand il sera à O₂ = 100%. Une saturation <100% indiquera un manque d'oxygène dans l'eau (hypoxie), alors qu'une saturation >100% indiquera surplus d'oxygène qui aura tendance à se diffuser vers l'atmosphère (hyperoxie).

Le calcul des valeurs des fetchs et de l'indice de Keddy a été effectué pour la période de la mise en place des sondes *in situ*. Ainsi, à chaque mesure d'oxygène et de température correspond une mesure d'exposition traduisant l'hydrodynamique en ce point à cet instant donné.

Enfin, l'analyse de l'influence du vent sur la teneur en oxygène dans l'eau dans les différentes stations a été réalisée à l'aide de corrélations croisées (cross correlation function, CCF). Le vent doit souffler suffisamment longtemps et suffisamment fortement dans une direction donnée pour que les vagues et les courants orbitaux dirigés vers le fond induits par celles-ci, puissent se former (Imboden et al., 1983 ; Monismith et al., 1985). Ainsi, la CCF nous permet d'identifier le décalage entre deux variables temporelles différentes, l'oxygène (en terme de concentration, mg L⁻¹) et l'exposition aux vents et aux vagues (Keddy). Des corrélations sont réalisées entre les séries temporelles de ces deux variables. Une série est fixée dans le temps et une multitude de décalages temporels est utilisée pour l'autre. Pour résumer, la CCF est simplement une corrélation (linéaire) entre deux séries temporelles réalisée plusieurs fois en utilisant des décalages différents dans le temps pour une des deux séries. Les décalages peuvent se faire dans le futur et dans le passé. C'est donc un moyen d'identifier avec quel retard, ou décalage, les deux séries sont les mieux corrélées.

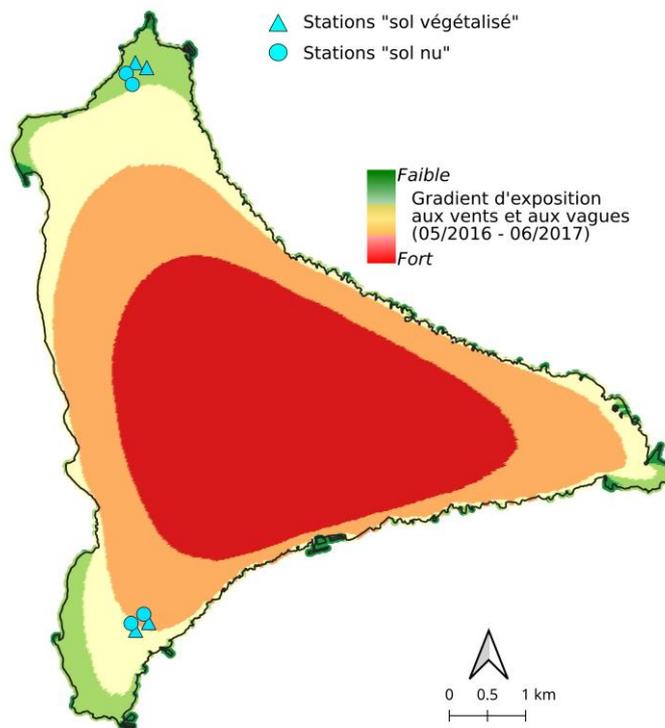
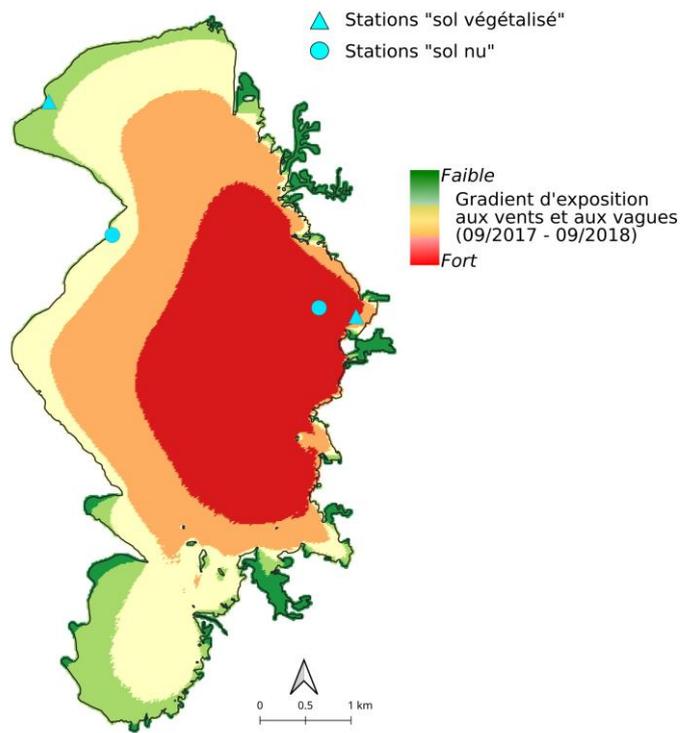


Figure 2 : Positionnement des stations de mesures selon les zones d'exposition aux vents et aux vagues faible et forte dans le lac de Lacanau et le lac de Parentis-Biscarrosse

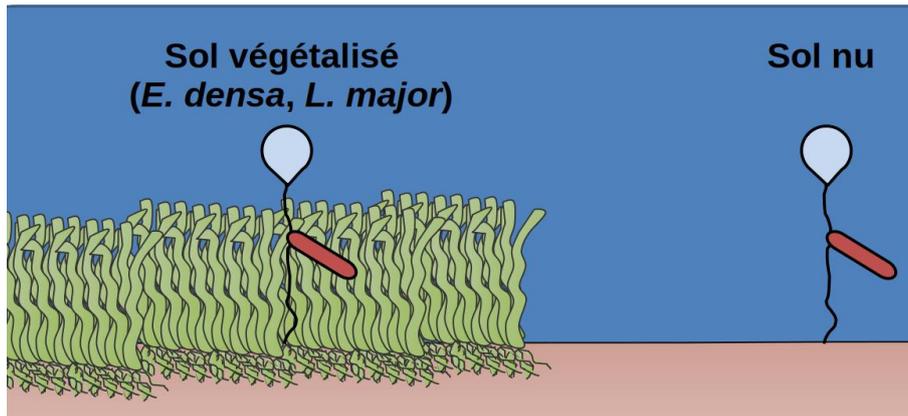


Figure 3 : Schéma de positionnement des sondes autonomes (optodes) dans les stations de mesures

Les décalages sélectionnés ont servi ensuite à réaliser différents modèles saisonniers et non saisonniers (ARIMA, SARIMA, SARIMAX). Plusieurs modèles ont été testés au préalable afin d'identifier les meilleurs outils disponibles pour étudier les relations entre l'oxygène et l'action des vagues (Maréchal, 2019). Ces modèles autorégressifs à moyenne mobile se basent sur une combinaison linéaire des valeurs passées d'une série temporelle pour en prédire les valeurs présentes. Afin de comparer l'apport des variables de décalages dans les données d'exposition aux vents et aux vagues pour modéliser la concentration en oxygène, nous avons comparé les prédictions issues de plusieurs modèles (SARIMA(pdq)(PDQ)(S)). Pour évaluer la différence de qualité prédictive entre ces modèles, les jeux de données ont été coupés en deux parties, une partie d'entraînement et une partie test où les prédictions ont été réalisées. Ensuite différents indicateurs de qualité de prédiction (l'erreur moyenne absolue (MAE) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE)) ont été utilisés pour comparer les prédictions des différents modèles. L'ensemble des analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R.

3. Résultats obtenus et discussion

Mesure des flux sédimentaires et de la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie

L'étude des carottes sédimentaires a montré 3 principaux types de sédiments dans ces lacs colonisés par les plantes invasives: 1) des sédiments sableux non colonisés par les herbiers situés dans les secteurs les moins profonds des lacs. Ces sédiments recouvrent les superficies les plus importantes des lacs. Les sables ont une granulométrie médiane de 370 μm . La distribution granulométrique est la même que celle des sables du bassin versant (Canredon et al., 2019) ; 2) des sédiments vaseux très riches en matière organique qui s'accumulent dans les secteurs profonds des lacs (sous 8 m de profondeur à Parentis-Biscarrosse ; sous 5 m de profondeur à Lacanau). Ces vases contiennent jusqu'à 50% de matière organique et s'accumulent localement sur plusieurs mètres ; 3) les sédiments colonisés par les herbiers denses de plantes invasives. Ces sédiments sont des sables recouverts d'une pellicule de quelques centimètres de vase. Les sédiments vaseux sont des bioréacteurs très efficaces : ils sont la principale source de nutriments pour les lacs en raison du recyclage de la matière organique par les processus de diagenèse précoce (tableau 2). Les sédiments sableux sont moins réactifs, comme le montrent les profils de la figure 4 avec des gradients de concentration des composés réactifs beaucoup moins prononcés que dans les vases. Lorsque les sables sont colonisés par des plantes, la diminution de l'hydrodynamisme liée à la présence des plantes permet l'accumulation de vases organiques dans les premiers centimètres de sédiment (profils verts, figure 4). Ces vases sont très réactives et montrent les flux benthiques en composés azotés, phosphatés et en fer les plus forts. Ceci signifie que les surfaces colonisées par les plantes sont des surfaces additionnelles à fort flux benthique : les plantes assimilent des nutriments dans leurs biomasses, mais elles amplifient le recyclage benthique à l'échelle du lac. Ce recyclage est saisonnier, parce qu'on note de fortes différences entre l'été (septembre) où le sédiment est une source majeure en azote et phosphore et l'hiver (mars), où le

sédiment est un puits d'azote en raison de la dénitrification. Ces flux benthiques jouent un rôle dominant dans le cycles des éléments nutritifs du lac de Parentis-Biscarrosse, parce qu'ils dépassent les flux issus du bassin versant. Nous avons tiré des résultats et des conclusions similaires pour le lac de Lacanau, hormis le fait que le bassin versant jouait un rôle plus important dans ce lac.

Tableau 2 : Flux diffusifs en été et en hiver de nitrate, d'ammonium et de phosphate à l'interface eau sédiment des principaux types de sédiments du lac de Parentis-Biscarrosse (P-B). Les valeurs positives sont des flux du sédiment vers la colonne d'eau, les valeurs négatives sont des flux vers le sédiment

		Superficie (km ²)	N-Ammonium	N-nitrate (kg/jour)	P-phosphate
P-B été	Vases	10,5	641	0	13
	Sables	20,3	26	8	0
	Herbiers	4,17	496	7	19
P-B hiver	Vases	10,5	38	-55	0
	Sables	20,3	2	6	4
	Herbiers	4,17	35	-43	1

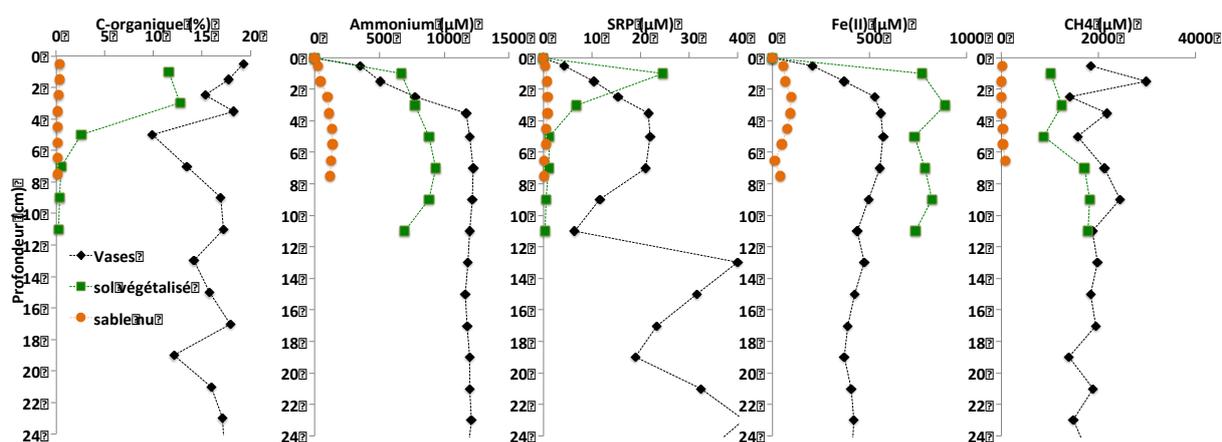


Figure 4 : Exemple de profils verticaux sous l'interface eau-sédiment du lac de Parentis-Biscarrosse de carbone organique particulaire, ammonium, fer dissous, phosphate (SRP) et méthane mesurés dans des carottes de vases profondes, sol sableux nu et sol végétalisé, prélevées en septembre 2016

Les mesures effectuées dans la colonne d'eau montrent que l'oxygénation des herbiers denses des hydrophytes invasives est fortement influencée à la fois par la présence de ces plantes et par l'hydrodynamisme local. En effet, dans des milieux aquatiques peu profonds colonisés par des hydrophytes, on s'attend à mesurer des variations journalières régulières, c'est-à-dire une augmentation de la teneur d'oxygène pendant le jour générée par l'activité photosynthétique des plantes, et une baisse marquée pendant la nuit, au moment où la respiration des plantes s'ajoute à celle des hétérotrophes (Caraco & Cole 2002 ; Bolpagni et al. 2007). Nos hypothèses considéraient la possibilité que ces variations soient encore plus évidentes en présence d'une couche épaisse de biomasse. Cependant, les résultats obtenus dans les herbiers de Lacanau sur des cycles jour/nuit (Ribaud et al., 2018) montrent que, dans les conditions locales et sur la base de mesures et prélèvements ponctuels, les courbes de variation jour/nuit ne sont pas marquées et que, dans plusieurs cas la colonne d'eau est bien oxygénée même en présence d'un herbier développé, et même pendant la nuit. De même, la colonne d'eau devient épisodiquement anoxique même en plein jour (Ribaud et al., 2015). Les résultats obtenus à Lacanau montrent aussi que les différences entre surface et fond, c'est-à-dire la présence/absence d'une colonne d'eau stratifiée, sont dépendantes du site d'échantillonnage et probablement des conditions locales de l'hydrodynamique. C'est pourquoi l'étude menée à Parentis-

Biscarrosse dans le cadre d'AquaVIT prévoyait exclusivement des prélèvements pendant le jour, et sur des stations strictement à l'abri du vent, en les comparant à des stations strictement exposées au vent.

Par souci de simplicité, la présentation des résultats d'hydrochimie se fera en négligeant la partie sur l'oxygène dissous, pour laquelle une section est spécifiquement dédiée, et en regroupant les zones à l'abri/exposées au vent, à cause des faibles concentrations détectées à Parentis-Biscarrosse, qui ne permettent pas d'identifier des différences significatives. Le but ici est de comparer les deux lacs les plus impactés par la présence d'herbiers denses et de dégager des tendances en comparant la période de l'année où ils sont les moins développés (hiver/printemps) avec celle où ils se développent le plus (été/automne).

Dans le tableau 3 sont reportés les résultats obtenus dans la colonne d'eau dans le cadre du projet AquaVIT à Parentis-Biscarrosse, couplés aux données recueillies lors d'une étude précédente menée à Lacanau (Ribaudou et al., 2018).

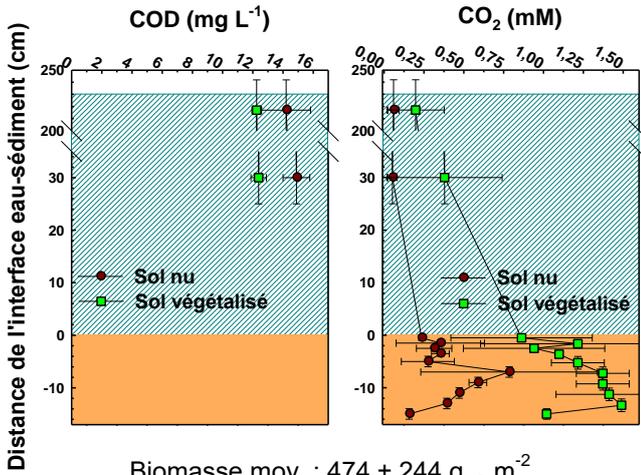
Dans les figures 5, 6 et 7, les résultats obtenus dans la colonne d'eau sont couplés à ceux obtenus dans le sédiment, afin d'obtenir une vision intégrée de l'influence des plantes invasives sur le biotope aquatique.

Tableau 3 : Données de chimie collectées au sein des herbiers denses et en périphérie sur deux lacs aquitains. Ces résultats regroupent les concentrations mesurées à une profondeur de -10 cm (surface de la colonne d'eau) et de -200/-300 cm (fond de la colonne d'eau)

Saison		Hiver/Printemps		Été/Automne	
Lac		Lacanaou	Parentis-Biscarrosse	Lacanaou	Parentis-Biscarrosse
Sol nu	gamme	COD (mg L ⁻¹)		COD (mg L ⁻¹)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	9,8-19,7	5,7-6,6	10,6-16,3	6,0-6,8
		14,2±1,6 (93)	6,1±0,3 (24)	13,8±0,9 (137)	6,3±0,2 (20)
Sol végétalisé	fourchette	11,9-13,3	5,7-6,8	12,5-15,1	6,1-7,6
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	12,3±0,4 (12)	6,1±0,3 (24)	13,5±0,5 (36)	6,4±0,2 (20)
Sol nu	gamme	CO ₂ (mM)		CO ₂ (mM)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	0,02-0,15	0,01-0,05	0,00-0,07	0,00-0,02
		0,06±0,03 (40)	0,03±0,01 (48)	0,03±0,01 (111)	0,03±0,01 (48)
Sol végétalisé	fourchette	0,02-1,63	0,00-0,06	0,00-1,51	0,00-0,14
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	0,29±0,30 (117)	0,02±0,01 (48)	0,16±0,22 (206)	0,02±0,03 (48)
Sol nu	gamme	CH ₄ (μM)		CH ₄ (μM)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	0,1-0,6	0,1-0,2	0,1-2,3	0,1-0,6
		0,2±0,1 (54)	0,1±0,0 (48)	0,4±0,4 (104)	0,2±0,2 (48)
Sol végétalisé	fourchette	0,1-102	0,1-0,3	0,2-227,1	0,0-1,3
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	6,5±20,4 (117)	0,1±0,1 (48)	10,3±27,6 (256)	0,3±0,3 (48)
Sol nu	gamme	NH ₄ ⁺ (μM)		NH ₄ ⁺ (μM)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	1,0-16,1	0,0-4,9	0,0-9,2	0,0-1,0
		6,6±2,9 (98)	2,1±1,2 (47)	1,6±2,1 (153)	0,2±0,3 (48)
Sol végétalisé	fourchette	0,2-18,6	0,0-5,9	0,0-86,9	0,0-1,7
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	5,6±4,0 (116)	1,9±1,3 (48)	5,0±11,9 (255)	0,3±0,4 (48)
Sol nu	gamme	NO ₃ ⁻ (μM)		NO ₃ ⁻ (μM)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	2-149	38-155	0-88	0-12
		38±49 (95)	99±54 (48)	9±16 (149)	5±3 (48)
Sol végétalisé	interval	15-153	44-171	0-40	0-21
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	78±51 (118)	101±55 (48)	13±14 (237)	5±5 (48)
Sol nu	gamme	SRP (μM)		SRP (μM)	
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	0,00-3,21	0,00-0,00	0,00-0,55	0,00-0,00
		0,14±0,48 (96)	0,00±0,00 (48)	0,07±0,10 (109)	0,00±0,00 (48)
Sol végétalisé	fourchette	0,00-0,35	0,00-0,00	0,00-10,8	0,00-0,00
	moy. ± dev.st. (n. répliques)	0,11±0,10 (59)	0,00±0,00 (48)	0,43±1,71 (118)	0,00±0,00 (48)

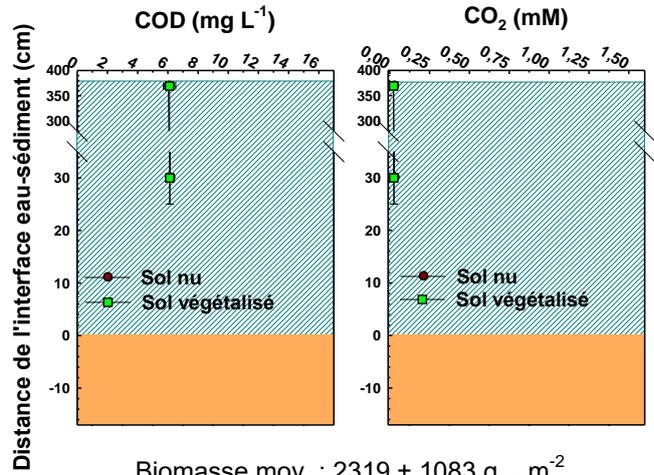
hiver / printemps

LACANAU



Biomasse moy. : $474 \pm 244 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ m}^{-2}$
 Hauteur moy. de l'herbier : $92 \pm 32 \text{ cm}$
 Température moy. de l'eau : $15 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$

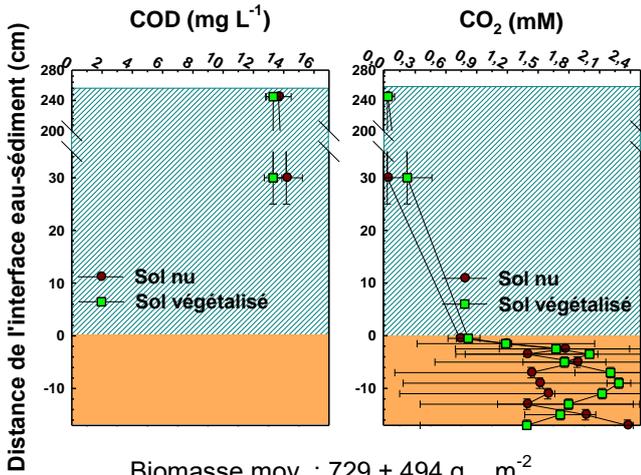
PARENTIS-BISCARROSSE



Biomasse moy. : $2319 \pm 1083 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ m}^{-2}$
 Hauteur moy. de l'herbier : $214 \pm 36 \text{ cm}$
 Température moy. de l'eau : $12 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

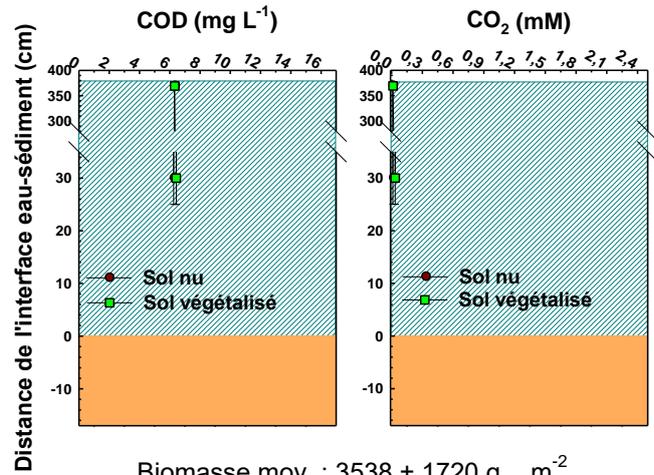
été / automne

LACANAU



Biomasse moy. : $729 \pm 494 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ m}^{-2}$
 Hauteur moy. de l'herbier : $135 \pm 43 \text{ cm}$
 Température moy. de l'eau : $21 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$

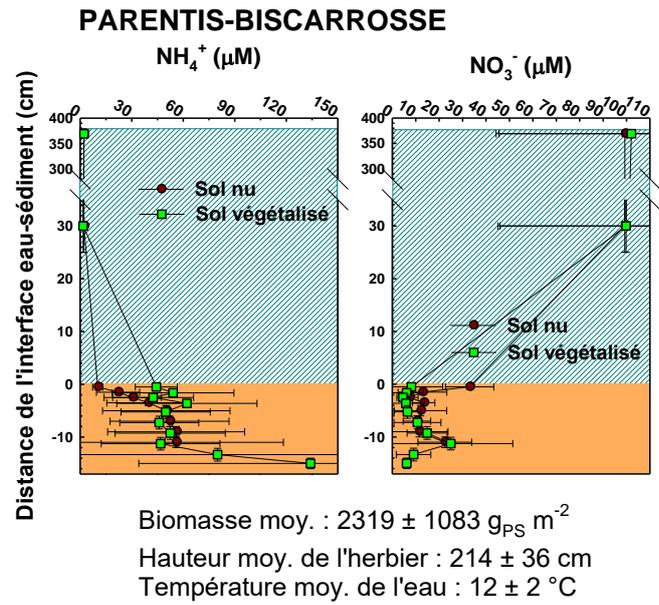
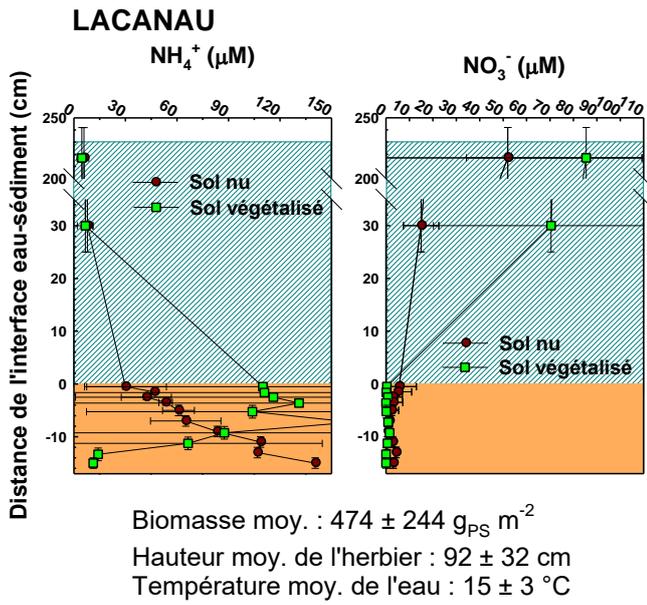
PARENTIS-BISCARROSSE



Biomasse moy. : $3538 \pm 1720 \text{ g}_{\text{PS}} \text{ m}^{-2}$
 Hauteur moy. de l'herbier : $228 \pm 59 \text{ cm}$
 Température moy. de l'eau : $21 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Figure 5 : Comparaison entre les stations « sol végétalisé » et « sol nu », dans la période hiver/printemps (métabolisme ralenti des plantes et températures moins élevées) et dans la période été/automne (développement optimale de la biomasse, températures élevées). Les concentrations mesurées dans la colonne d'eau et dans le sédiment sont reportées pour COD (carbone organique dissous) et CO₂ (dioxyde de carbone dissous)

hiver / printemps



été / automne

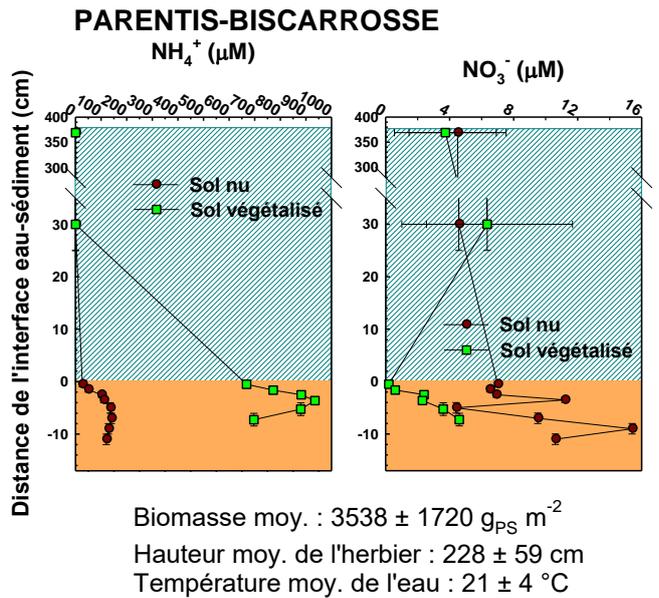
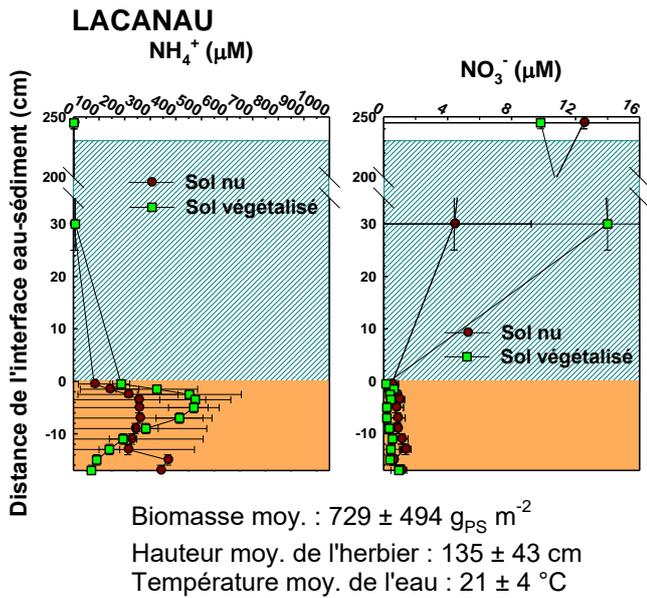
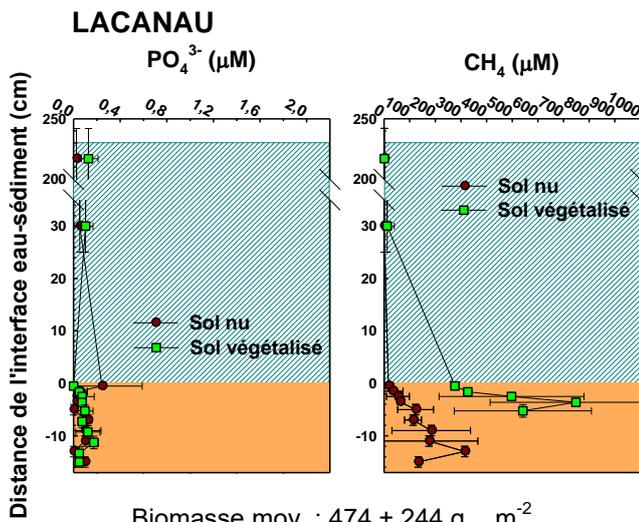
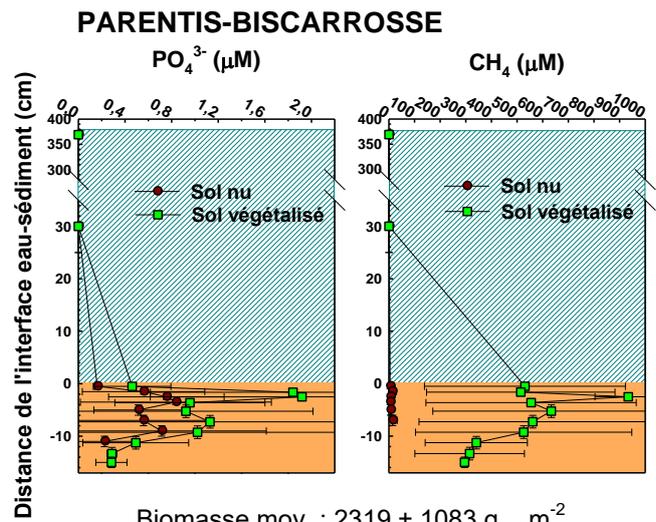


Figure 6 : Comparaison entre les stations « sol végétalisé » et « sol nu », dans la période hiver/printemps (métabolisme ralenti des plantes et températures moins élevées) et dans la période été/automne (développement optimale de la biomasse, températures élevées). Les concentrations mesurées dans la colonne d'eau et dans le sédiment sont reportées pour NH₄⁺ (ammonium) et NO₃⁻ (nitrate)

hiver / printemps

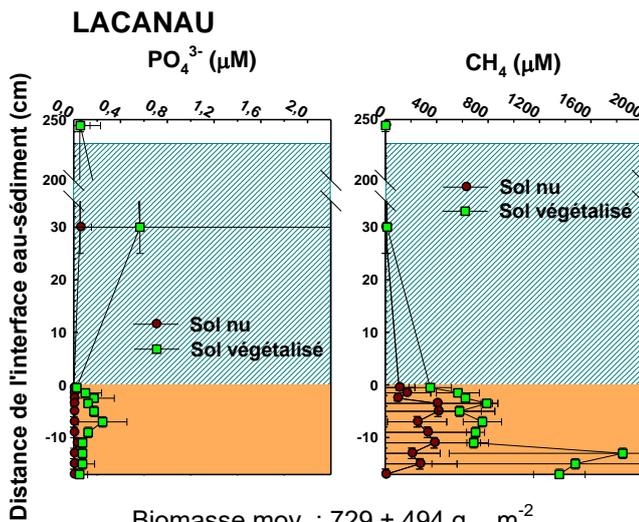


Biomasse moy. : 474 ± 244 g_{PS} m⁻²
 Hauteur moy. de l'herbier : 92 ± 32 cm
 Température moy. de l'eau : 15 ± 3 °C

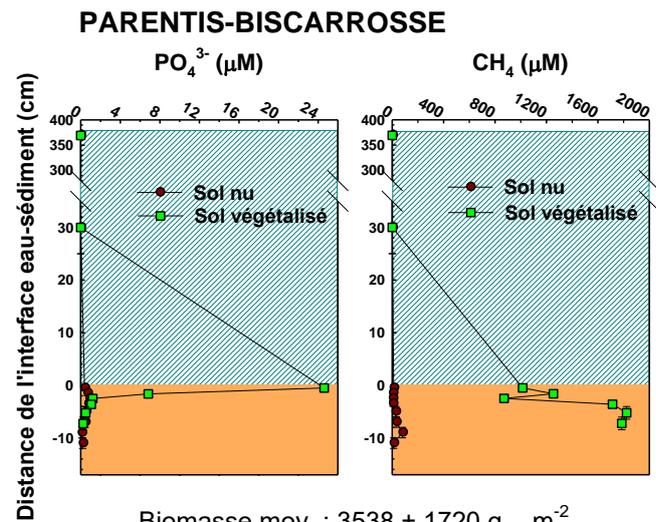


Biomasse moy. : 2319 ± 1083 g_{PS} m⁻²
 Hauteur moy. de l'herbier : 214 ± 36 cm
 Température moy. de l'eau : 12 ± 2 °C

été / automne



Biomasse moy. : 729 ± 494 g_{PS} m⁻²
 Hauteur moy. de l'herbier : 135 ± 43 cm
 Température moy. de l'eau : 21 ± 4 °C



Biomasse moy. : 3538 ± 1720 g_{PS} m⁻²
 Hauteur moy. de l'herbier : 228 ± 59 cm
 Température moy. de l'eau : 21 ± 4 °C

Figure 7 : Comparaison entre les stations « sol végétalisé » et « sol nu », dans la période hiver/printemps (métabolisme ralenti des plantes et températures moins élevées) et dans la période été/automne (développement optimale de la biomasse, températures élevées). Les concentrations mesurées dans la colonne d'eau et dans le sédiment sont reportées pour PO_4^{3-} (orthophosphate, SRP) et CH_4 (méthane)

Globalement, on remarque que le développement des herbiers en terme de biomasse est plus important à Parentis-Biscarrosse. Les mesures saisonnières effectuées dans le cadre d'AquaVIT confirment les résultats obtenus par échosondage dans une étude précédente (Ribaud et al., 2016 ; Bertrin et al., 2017). Au-delà de cette condition de départ différente entre les deux lacs, on remarque que le lac de Lacanau présente dans la colonne d'eau des concentrations généralement plus élevées en terme de COD, DIC, CH₄, DIN et SRP que Parentis-Biscarrosse, que ce soit sur les stations « sol nu » ou sur les stations « sol végétalisé » (Tableau 3). Cette différence provient probablement des apports différents des bassins versants des deux lacs (Buquet et al., 2017 ; Canredon et al., 2019).

En revanche, les sédiments de Parentis-Biscarrosse sont généralement plus riches en nutriments, et cela s'accroît en présence de plantes, qui déposent une couche superficielle de vase sur le substrat sableux. Ici, la dégradation de la matière organique consomme de l'oxygène dans le cas des respirations aérobies, et rejette de grandes quantités de méthane et d'ammonium dans le cas des respirations anaérobies. En ce qui concerne le méthane, bien que de l'ordre de la micro-molaire, les concentrations mesurées dans les deux lacs sont très importantes si l'on considère que la valeur théorique de concentration du méthane devrait être de l'ordre du 0.0028 μM dans les conditions de température de nos expérimentations. Il s'agit donc d'une situation de sursaturation en méthane, qui sûrement induit une fuite de ce gaz vers l'atmosphère et donc contribue localement à l'effet de serre. Pour ce qui est de l'ammonium, également, la présence de plantes stimulent la décomposition de matière organique fraîche, ce qui se traduit parfois localement par des concentrations très élevées dans le sédiment.

Le gradient entre la concentration dans le sédiment et la colonne d'eau génère donc des flux diffusifs importants de carbone et de phosphore vers l'eau, ce qui se traduit, à Lacanau, par une différence significative entre les concentrations mesurées dans les herbiers et celles de la périphérie, surtout pendant la saison végétative des plantes. Ce n'est pas le cas, par contre, de Parentis-Biscarrosse, où les concentrations mesurées dans la colonne d'eau aux différentes stations sont sensiblement les mêmes, et cela à n'importe quelle saison. On pourrait supposer que cela soit dû à une biomasse plus conséquente à Parentis-Biscarrosse, qui assimile de façon plus efficace les nutriments qu'à Lacanau, jusqu'à reporter les concentrations à des valeurs très faibles. À son tour, cette biomasse si importante pourrait s'expliquer par la disponibilité de nutriments, et notamment d'orthophosphates, présents dans les sédiments du lac. De plus, une concentration différente en carbone organique dissous (COD) pourrait être à l'origine des taux de respiration bactérienne plus élevés à Lacanau.

Effectivement, si on se réfère à la biomasse moyenne mesurée en été/automne de 3538 gPS m⁻² et à un taux de croissance moyen de 0,040 gPS gPS⁻¹j⁻¹ (Haramoto & Ikusima 1988 ; Tavecchio & Thomaz 2003), on peut estimer que les herbiers produisent en été/automne environ 142 gPS m⁻²j⁻¹. Sachant que le tissu végétal de *E. densa* et de *L. major* est constitué en moyenne de 0,015 g N gPS⁻¹ et de 0,003 g P gPS⁻¹ (Carvalho et al., 2005 ; Yarrow et al., 2009 ; Suzuki et al., 2015), on peut estimer que les herbiers fixent en biomasse environ 2,1 g N m⁻²j⁻¹ et 0,4 g P m⁻²j⁻¹. Cela veut dire que, à l'échelle du lac de Parentis-Biscarrosse, les herbiers denses (4,17 km² de surface, d'après Bertrin et al., 2017) nécessiteraient chaque jour d'environ 8852 kg d'azote et de 1770 kg de phosphore. Ces chiffres dépassent largement les flux diffusifs sédimentaires estimés dans le tableau 3, cela indiquant que les processus couplés de production et dégradation de la biomasse se déroulent très rapidement au sein de l'herbier. Cela aussi indique que, très probablement, les nutriments en surplus générés dans les sédiments végétalisés n'impactent pas le reste du lac, car tous les nutriments sont visiblement piégés en biomasse de façon très rapide. Cette considération émise pour Parentis-Biscarrosse est confortée d'ailleurs par les concentrations faibles mesurées dans la colonne d'eau des herbiers et est en cohérence avec les mêmes conclusions qui avaient été tirées pour le cas du lac de Lacanau (Ribaud et al., 2018).

Mesure de la dégradation de la matière organique générée par les plantes

Pour ce qui de l'expérience effectuée en laboratoire, en cycle jour/nuit (figure 8, à gauche), les résultats montrent que les deux hydrophytes produisent des quantités de COD différentes et les microcosmes mixtes montrent une quantité de COD produite proportionnelle à la densité 1:1 des deux espèces. Dans les microcosmes maintenus continuellement à l'obscurité (figure 8, à droite), l'écart entre la production de COD de la part de deux hydrophytes s'accroît et les concentrations en COD mesurées dans la condition « mixte » ne sont plus proportionnelles à la densité respective des deux espèces (ANOVA, $p < 0.001$). Ces résultats sont confirmés lorsque les quantités de COD produites sont normalisées par les poids sec (PS) des plantes pour chaque microcosme ($\text{mg C g}_{\text{PS}}^{-1} \text{ j}^{-1}$, données non illustrées).

D'après ces résultats, on peut supposer que le complexe macrophyte-épiphytes (microorganismes autotrophes et hétérotrophes) des deux hydrophytes est à l'origine de cette production nette de COD. Dans l'obscurité, la dégradation de *L. major*, face à ces conditions de culture très défavorables (dégradation très rapide au bout de quelques heures de culture), entraînerait un relargage important de ces composés dans le milieu. Dans le cas d'*E. densa*, ce phénomène ne présente pas la même ampleur, dû probablement au fait que cette hydrophyte supporte mieux des périodes prolongées d'obscurité grâce à une stratégie de fixation du carbone de type C4 (Holaday & Bowes, 1980 ; Casati et al., 2000).

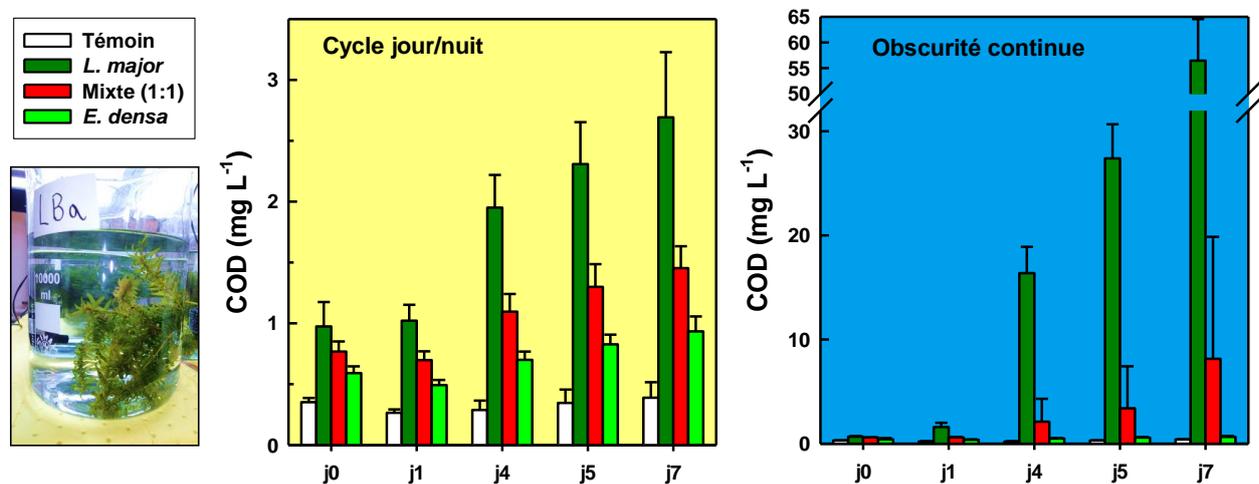


Figure 8 : Étude exploratoire réalisée en avril 2017

Une différence dans le taux de décomposition des deux hydrophytes pourrait donc expliquer la différence de production de COD dans les microcosmes monospécifiques à l'obscurité. En cycle jour/nuit, la production de COD est inférieure à celle de l'obscurité, mais il reste des différences significatives en termes de production entre les deux espèces. Suite à ces résultats, on peut émettre les conclusions suivantes :

- 1) Un taux de décomposition plus élevé pour *L. major* pourrait déterminer la différence d'augmentation du COD dans l'obscurité entre les deux espèces. Une différence dans les métabolites secondaires produits par chaque hydrophyte, spécifiquement des phénoliques potentiellement réfractaires, pourraient expliquer une différence dans l'importance des processus de décomposition.
- 2) Si dans la condition « mixte » les taux de production de COD ne correspondent pas à la proportion 1:1 de biomasse, cela pourrait indiquer une possible interaction entre les deux hydrophytes, via notamment les communautés épiphytiques. Il est ainsi possible qu'au moment du mélange, la communauté microbienne hétérotrophe provenant d'*E. densa* se développerait davantage par rapport à l'autre et consommerait plus rapidement le COD.
- 3) Dans le cas d'*E. densa*, la dégradation du COD par des microorganismes hétérotrophes pourrait avoir un effet indirect sur le développement de la communauté épiphyte globale via des phénomènes de compétition microbienne : une consommation bactérienne des composés labiles entraînant une concentration accrue des composés réfractaires, pourrait être nocive pour la croissance microalgale épiphytique à travers des mécanismes de type allélopathique (Pellerin et al., 2010).

Les résultats de cette expérience, effectuée en conditions contrôlées, montrent comment les deux espèces d'hydrophytes influencent la chimie de l'eau de façon significative, à travers une grande production de carbone organique. Cette production peut influencer la relation plante-plante ainsi que la relation plante-communauté bactérienne.

Nous avons également réalisé une étude complète de l'origine de la matière organique dans les sédiments des lacs. Nous avons comparé les lacs ciblés dans AquaVIT (Parentis-Biscarrosse et Lacanau) avec les lacs de Carcans-Hourtin et Cazaux-Sanguinet, qui sont moins touchés par les plantes envahissantes. Les résultats montrent que les sédiments sont très réactifs et que la signature isotopique n'est pas impactée par la diagenèse précoce. Les vases sont principalement constituées de diatomées, de débris de végétaux, de zooplancton et d'agrégats de matière biologique et minérale. Les rapports isotopiques et élémentaires des sédiments organiques des quatre lacs montrent le rôle dominant de la matière autochtone et une contribution moins importante de la MO du bassin versant. Les plantes invasives ne représentent pas une fraction dominante de la matière organique des lacs, mais elles contribuent partiellement à la MO des vases prélevées dans les zones colonisées. Quand on compare les sédiments des quatre lacs entre eux, ceux-ci possèdent des signatures isotopiques en C bien distinctes, en lien avec la signature isotopique du DIC. Ceci suggère que la production primaire autochtone, en particulier le phytoplancton, est le contributeur majeur de la matière organique des lacs (figure 9). Le fait que les macrophytes ne constituent pas une fraction majeure de la MO, même dans les lacs très impactés par les plantes invasives, signifie que la MO des plantes est très rapidement minéralisée et ne fossilise pas, ou très peu dans les sédiments.

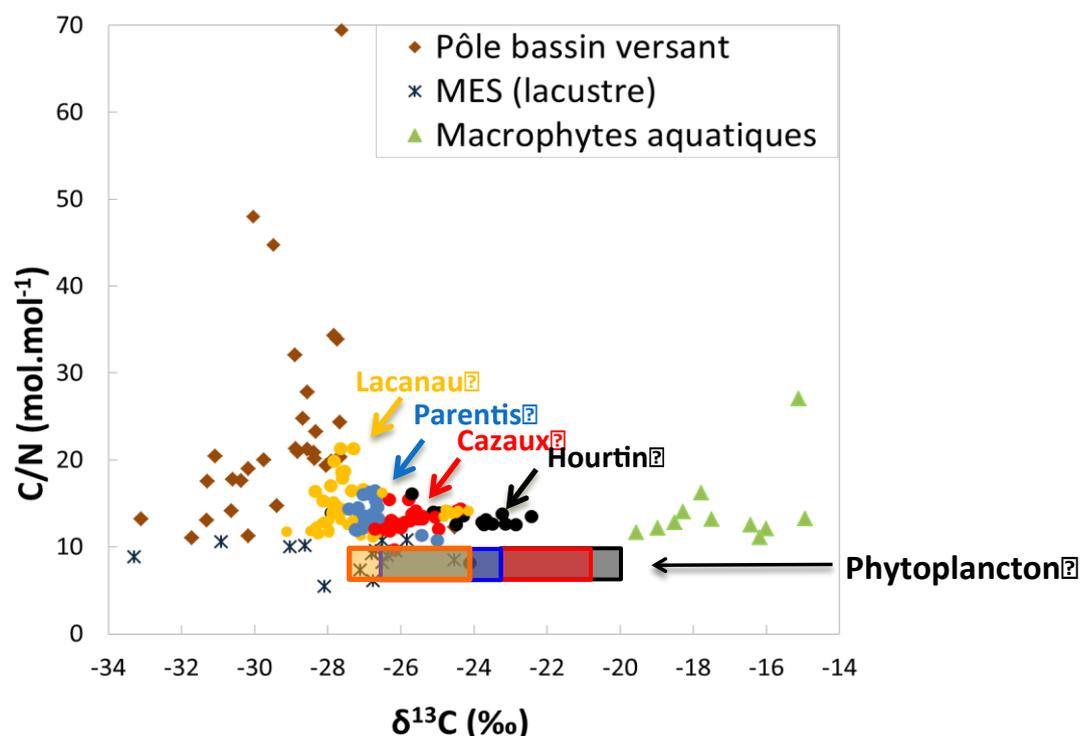


Figure 9 : Diagramme des rapports molaires C/N en fonction de la signature isotopique en carbone de la matière organique des lacs et des pôles de mélange potentiels

Mesure de l'hydrodynamisme au sein des herbiers et leur périphérie

Dans le lac de Lacanau, les vents d'ouest-nord-ouest ont été majoritaires (37%) durant la période d'étude (29 septembre 2017 au 7 septembre 2018), tandis que les vents d'est ont soufflé durant 25 % de la période (figure 10). L'occurrence des vents d'est est la plus élevée durant la période hivernale (46 % entre novembre et mars), tandis que celle des vents d'ouest est indifféremment répartie entre la période estivale et hivernale. Dans ce lac, les vents dont la vitesse est supérieure à 10 m.s⁻¹ (36 km.h⁻¹)

ont majoritairement une direction plein ouest avec un maximum mesuré à $13,2 \text{ m.s}^{-1}$ (48 km.h^{-1}) en décembre 2017. La vitesse du vent a été nulle durant près de 3 % de la période d'étude.

Pour le lac Parentis-Biscarrosse, les vents d'est ont été majoritaires (52 %) durant la période d'étude (24 mai 2016 au 9 juin 2017), tandis que les vents d'ouest-nord-ouest ont soufflé durant 34 % de cette période (figure 11). L'occurrence des vents d'est est plus élevée durant la période hivernale (47 % entre le mois de novembre et le mois de mars), celle des vents d'ouest est majoritaire durant la période estivale (61 % de mai à septembre). Dans ce lac, les vents dont la vitesse est supérieure à 20 m.s^{-1} (soit 72 km.h^{-1}) ont principalement une direction plein ouest. Cependant les vents les plus forts (de 24 m.s^{-1} ($86,4 \text{ km.h}^{-1}$) au maximum 27 m.s^{-1} ($97,2 \text{ km.h}^{-1}$)) ont une direction plein est et ont été mesurés au début du mois de février. Cette situation de vents d'est dominants en vitesse et en fréquence est relativement atypique comparée aux situations observées dans d'autres études, même si celles-ci intégraient des données de vent sur plusieurs années (Charles et al., 2012 ; Bertrin et al. 2017 ; Bertrin et al. 2018). La vitesse du vent a été nulle durant 2 heures seulement durant la période d'étude.

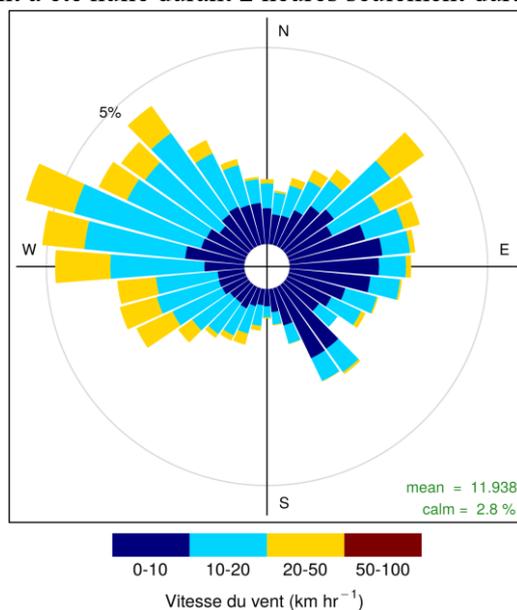


Figure 10 : Rose des vents utilisée pour le lac de Lacanau (station de Vendays-Montalivet n°3354000129, du septembre 2017 au 7 septembre 2018)

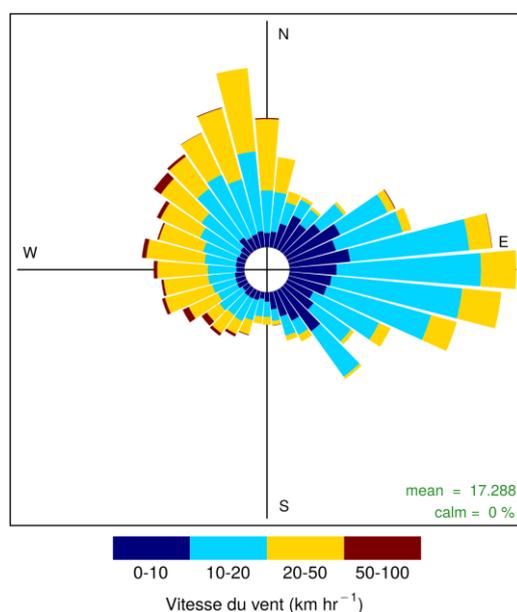


Figure 11 : Rose des vents utilisée pour le lac de Parentis-Biscarrosse (station de Biscarrosse n°40046001, du 24 mai 2016 au 9 juin 2017)

Chaque sonde autonome a réalisé 8945 mesures d'oxygène et de température pendant 373 jours dans les stations du lac de Lacanau, et 9145 mesures pendant 381 jours dans les stations du lac de Parentis-Biscarrosse. On observe des différences dans la physico-chimie de l'eau en fonction de la présence/absence des plantes (tableau 4 et 5). Les lacs étudiés sont bien oxygénés durant la majeure partie de l'année dans toutes les stations. On observe des valeurs supérieures au seuil de 50% de saturation, des épisodes d'hypoxie relativement peu nombreux, ainsi que des épisodes d'anoxie totalement absents dans la plupart des cas. Les épisodes d'anoxie et d'hypoxie sont plus fréquents dans les herbiers denses, à l'exception de la zone exposée du lac de Lacanau.

Tableau 4 : Résultats relatifs aux conditions d'oxygénation mesurées par les sondes dans les différentes stations de mesures du lac de Lacanau

Exposition aux vents	Zones à l'abri		Zones exposées	
	Sol végétalisé	Sol nu	Sol végétalisé	Sol nu
Station				
Nombre de mesures	17885	17881	15388	17891
Température moyenne (min – max) (°C)	15,6 (3,5 - 26,2)	16,1 (3,5 - 26,5)	16,4 (3,9 - 27,6)	15,8 (5,8 - 28,0)
Oxygénation moyenne (O ₂ %)	64 ± 34	88 ± 9	89 ± 9	90 ± 16
Épisodes d'hypoxie (O ₂ < 50%)	5422	111	29	640
Épisodes d'anoxie (O ₂ < 10%)	2373	0	0	182

Tableau 5 : Résultats relatifs aux conditions d'oxygénation mesurées par les sondes dans les différentes stations de mesures du lac de Parentis-Biscarrosse

Exposition aux vents	Zones à l'abri		Zones exposées	
	Sol végétalisé	Sol nu	Sol végétalisé	Sol nu
Station				
Nombre de mesures	17608-18290	16174-18290	16458-17807	17881-18290
Température moyenne (min – max) (°C)	15,5 ± 5,7 (3,4 - 25,7)	15,8 ± 5,8 (4,0 - 26,6)	16,4 ± 6,5 (3,5 - 27,4)	16,6 ± 6,2 (4,7 - 27,2)
Oxygénation moyenne (O ₂ %)	82 ± 18	88 ± 11	93 ± 18	93 ± 6
Épisodes d'hypoxie (O ₂ < 50%)	1169 ± 812	230 ± 179	608 ± 859	13 ± 13
Épisodes d'anoxie (O ₂ < 10%)	94 ± 110	1 ± 1	512 ± 723	0 ± 0

Des oscillations importantes dans la saturation en oxygène dissous sont observables entre le jour et la nuit, notamment durant la période estivale et automnale (figures 12, 13, 14 et 15). Cette dynamique diffère de celle observée à l'aide des prélèvements et mesures ponctuels (cf. § Mesure des flux sédimentaires et de la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie). En effet, les sondes autonomes de mesure à haute fréquence permettent de caractériser cette dynamique sans interruption sur de longues périodes, les épisodes extrêmes ne pouvant pas être "manqués" compte tenu du pas temps court choisi ici (30'). À l'origine de ce phénomène est le cycle jour/nuit de production/respiration du phytoplancton présent dans la colonne d'eau (stations « sol nu »), et de l'ensemble des hydrophytes et du phytoplancton dans les stations végétalisées (stations « sol végétalisé »). Par conséquent, ces oscillations s'affaiblissent significativement pendant l'hiver à cause des baisses de température et de la diminution des taux de production primaire. Puis elles reprennent au printemps au début de la période végétative. Les valeurs extrêmes de ces oscillations sont atteintes dans les stations « sol végétalisé ». Ceci est particulièrement évident dans le lac de Lacanau, où cette station située dans la zone à l'abri du vent subit d'importants épisodes d'hypoxie et d'anoxie prolongés durant plusieurs jours dans l'année. Ces épisodes d'hypoxie ne sont pas mesurés aussi fréquemment dans le lac de Parentis-Biscarrosse en dépit des biomasses végétales beaucoup plus élevées que dans le lac de Lacanau. Cette différence pourrait être donc liée à la nature du substrat,

notamment au niveau de la matière organique sédimentaire, ainsi qu'à la quantité de carbone organique dissous (COD) présent naturellement dans la colonne d'eau. En effet, le lac de Lacanau présente des teneurs en matière organique sédimentaire beaucoup plus importantes que le lac de Parentis-Biscarrosse (Bertrin et al., 2017), ainsi que des concentrations en COD presque 2 fois plus élevées que celles de Parentis-Biscarrosse (tableau 3). La dégradation de cette matière organique (particulaire et dissoute) pourrait donc jouer un rôle-clé dans la consommation de l'oxygène dissous, beaucoup plus importante que la simple présence de grandes quantités de biomasse vivante. Enfin, la présence d'herbiers denses semble favoriser des épisodes fréquents d'hyperoxie (saturation de l' $O_2 > 110\%$), c'est-à-dire de libération d'oxygène de l'eau vers l'atmosphère, notamment dans le lac de Parentis-Biscarrosse.

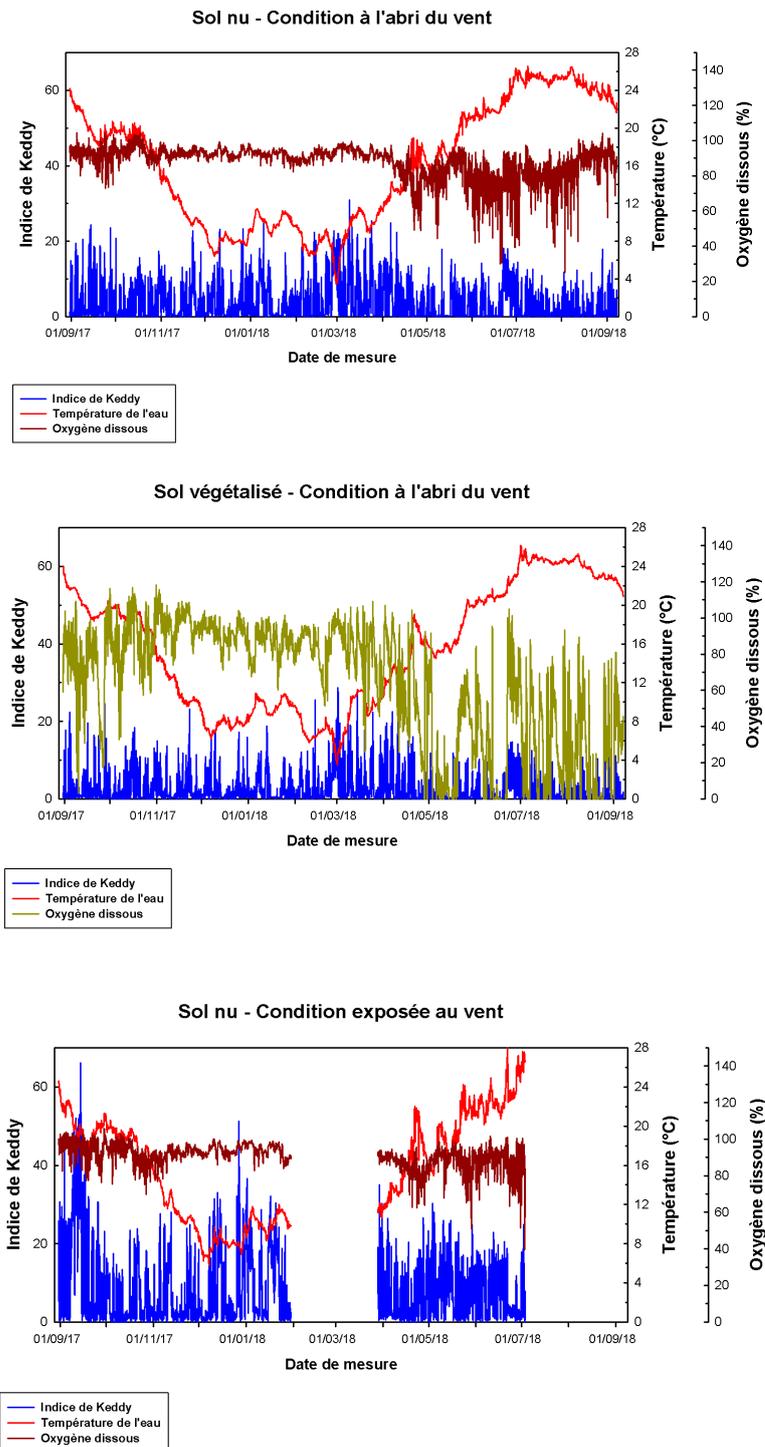


Figure 12 : Mesures de la saturation en oxygène, de la température de l'eau et de l'exposition aux vents et aux vagues (indice de Keddy) durant la période d'étude dans le lac de Lacanau

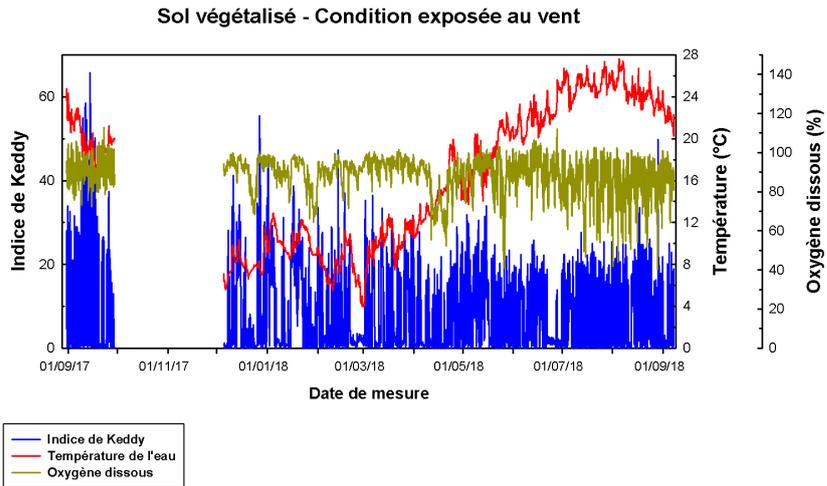


Figure 12 (suite) : Mesures de la saturation en oxygène, de la température de l'eau et de l'exposition aux vents et aux vagues (indice de Keddy) durant la période d'étude dans le lac de Lacanau

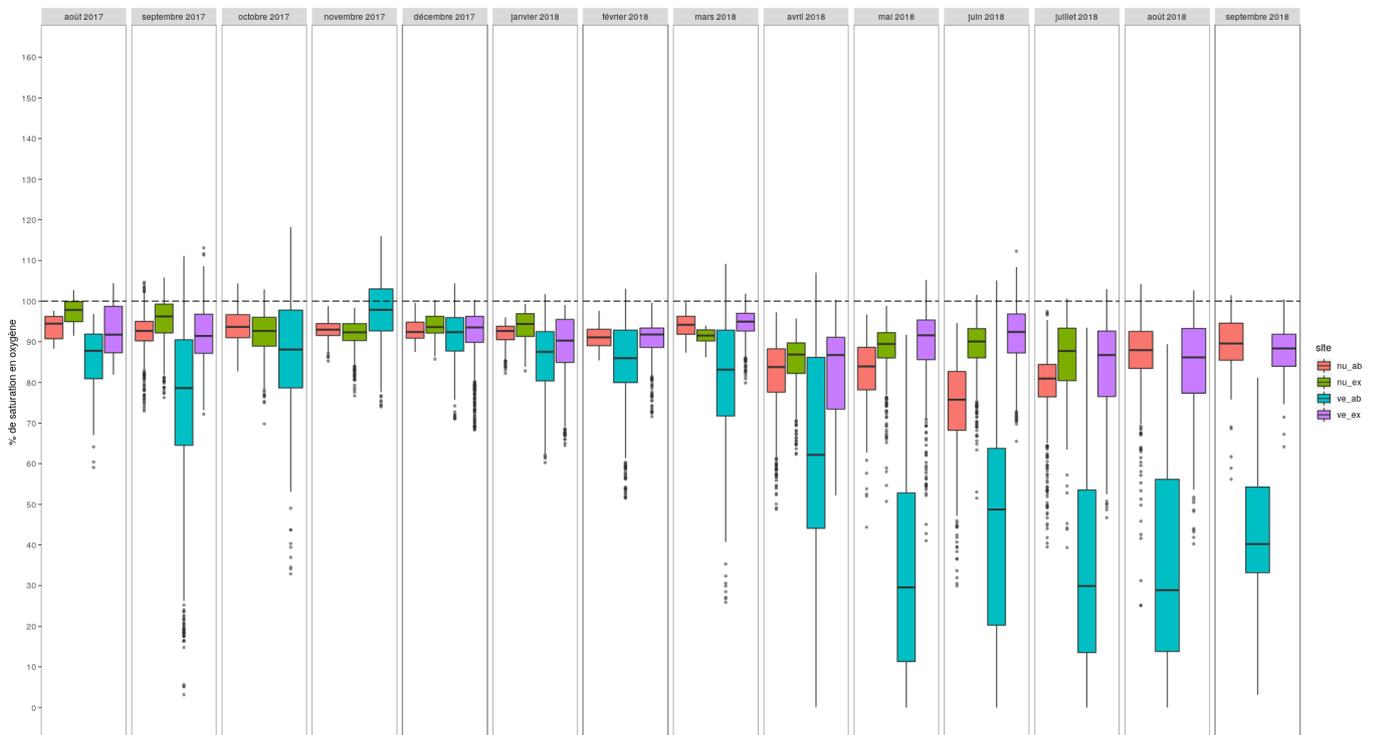


Figure 13 : Représentation de la dynamique mensuelle de la saturation en oxygène sous forme de boîtes à moustaches dans le lac de Lacanau en fonction des conditions d'exposition aux vents et de la présence ou non d'herbiers denses d'hydrophytes envahissantes

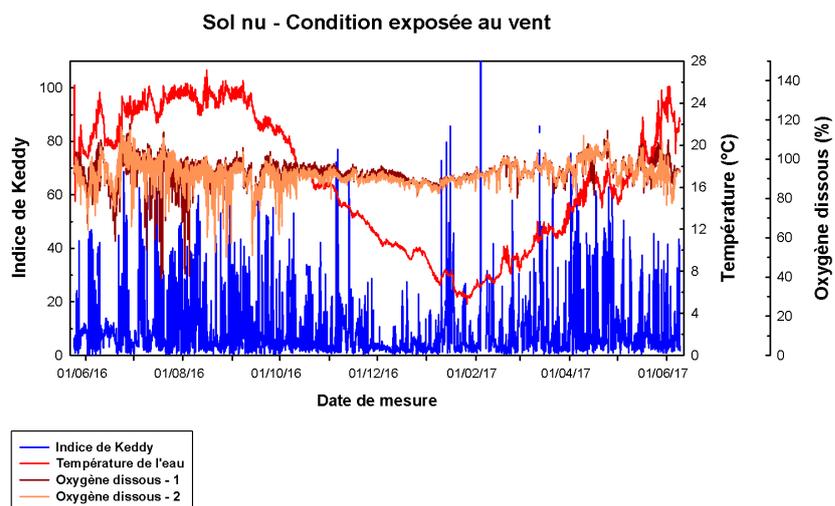
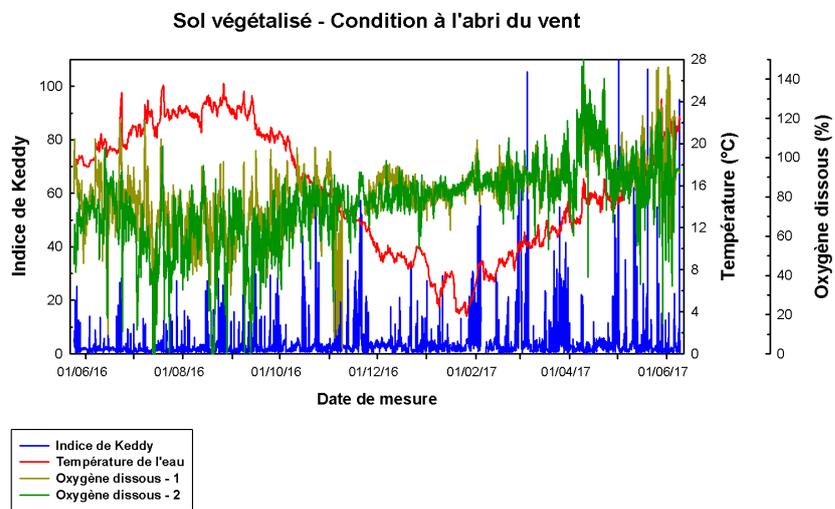
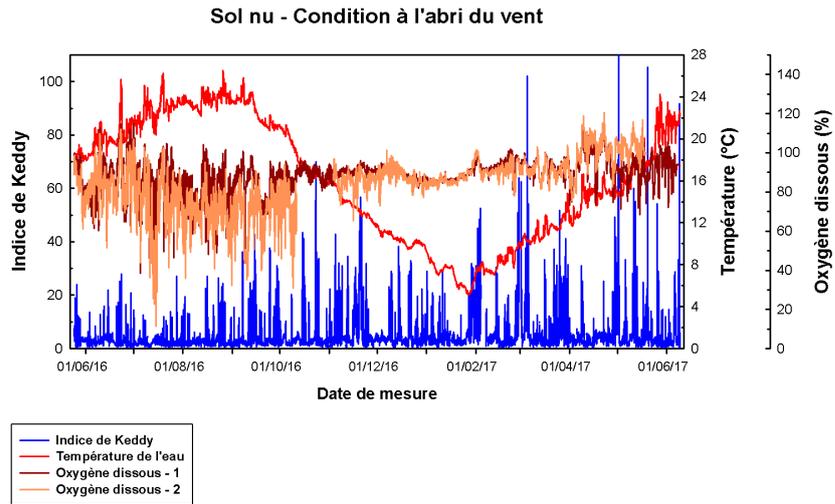


Figure 14 : Mesures de la saturation en oxygène, de la température de l'eau et de l'exposition aux vents et aux vagues (indice de Keddy) durant la période d'étude dans le lac de Parentis-Biscarrosse

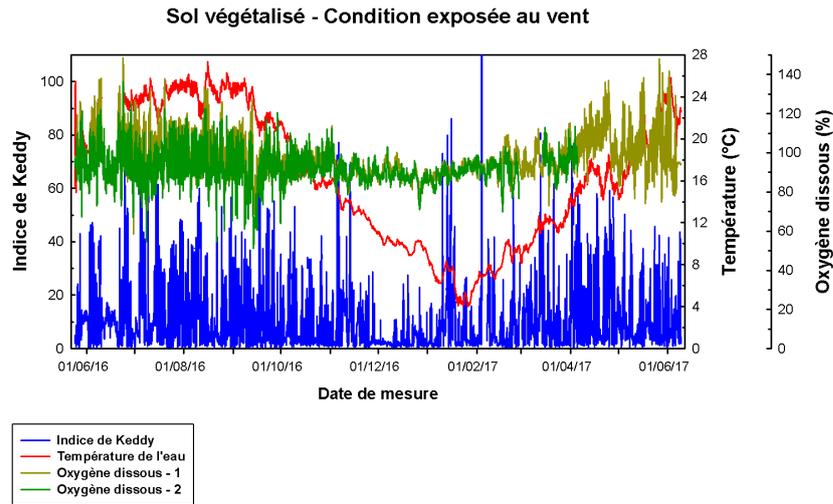


Figure 14 (suite) : Mesures de la saturation en oxygène, de la température de l'eau et de l'exposition aux vents et aux vagues (indice de Keddy) durant la période d'étude dans le lac de Parentis-Biscarrosse

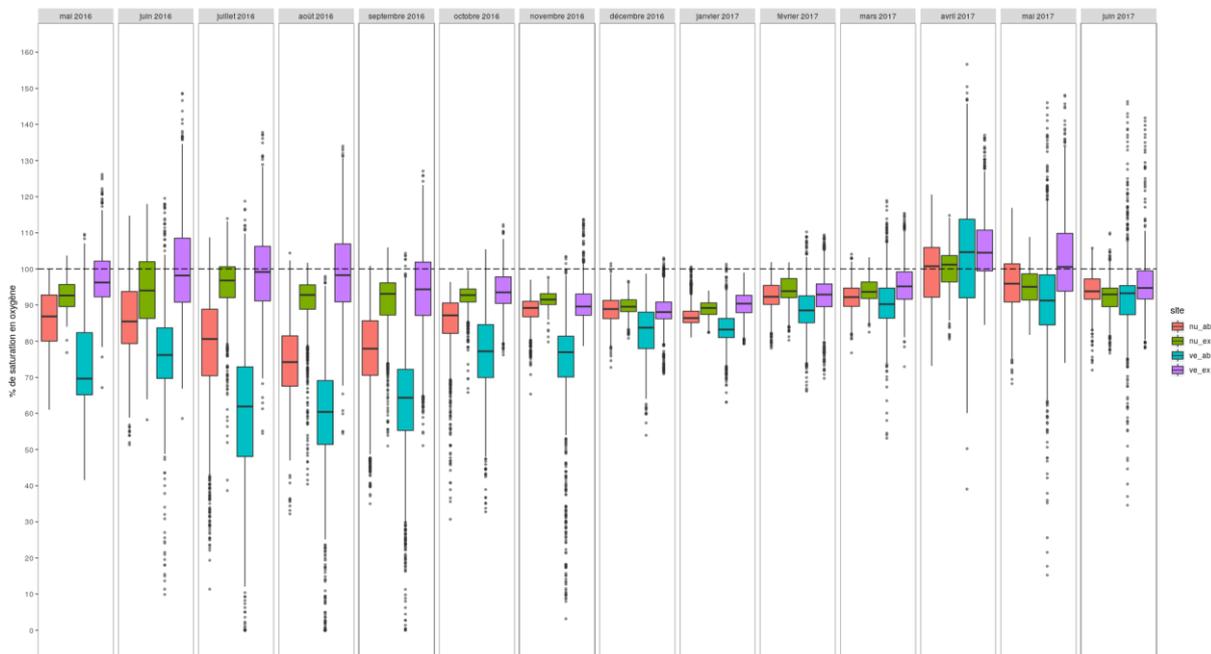


Figure 15 : Représentation de la dynamique mensuelle de la saturation en oxygène sous forme de boîtes à moustaches dans le lac de Parentis-Biscarrosse en fonction des conditions d'exposition aux vents et de la présence ou non d'herbiers denses d'hydrophytes envahissantes

Les épisodes d'hypoxie et d'anoxie sont significativement plus faibles dans les zones exposées au vent et aux vagues. De plus, l'amplitude des oscillations jour/nuit varie entre les zones abritées du vent et les zones exposées. À l'abri du vent, les oscillations sont plus étendues par rapport à celles observées dans les zones exposées. Ces deux zones, soumises à une force et à une fréquence de vents contrastées, subissent un brassage de l'eau différent au niveau local (Bertrin et al., 2017).

Les données de concentration en oxygène et d'exposition aux vents et aux vagues ont été analysées à l'aide de techniques statistiques dédiées à l'étude des séries chronologiques. De manière à exclure les périodes où les eaux sont naturellement mélangées durant les saisons froides, situation susceptible d'apporter un biais dans l'interprétation des analyses de l'effet du brassage des eaux par le vent sur l'oxygénation, seules les données acquises à des température de l'eau $\geq 20^{\circ}\text{C}$ ont été retenues pour la suite des analyses. Les meilleures corrélations obtenues entre les deux variables temporelles

d'exposition au vent et de concentration en oxygène utilisant les 6 meilleurs décalages dans le temps à l'aide de la corrélation croisée, sont présentées dans le tableau 6. Ces corrélations sont obtenues à partir de données d'exposition aux vents et aux vagues décalées dans le passé, avec un optimum de 5 heures de décalage. Ceci traduit un effet potentiel de l'exposition aux vents et aux vagues sur l'oxygénation des eaux.

Tableau 6 : Bilan des six meilleures corrélations de Pearson utilisant des décalages dans le temps entre les données d'exposition aux vents (logarithme en base 10) et la concentration en oxygène mesurée à haute fréquence. Chaque unité négative dans les décalages correspond à une heure de décalage dans les mesures d'exposition précédant la mesure de concentration en oxygène effectuée à un instant t . Toutes les corrélations sont significatives au seuil $\alpha = 0,05$

Lac	Station	Meilleurs décalages	1	2	3	4	5	6	
Lacanau	Sol nu abrité	Décalage	-9	-7	-8	-6	-10	-11	
		Corrélation	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	Sol nu exposé	Décalage	-3	-4	-2	-1	-5	0	
		Corrélation	0.24	0.23	0.23	0.21	0.20	0.18	
	Sol végétalisé abrité	Décalage	-13	-12	-14	-10	-11	-9	
		Corrélation	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	
		Décalage	-2	-3	-17	-14	-16	-15	
		Corrélation	0.20	0.20	-0.21	-0.23	-0.23	-0.24	
	Parentis-Biscarrosse	Sol nu abrité	Décalage	-7	-6	-8	-5	-4	7-9
			Corrélation	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
		Sol nu exposé	Décalage	-2	-3	-1	-4	0	-5
			Corrélation	0.46	0.45	0.43	0.42	0.38	0.37
Sol végétalisé abrité		Décalage	-5	-4	-6	-7	-3	-8	
		Corrélation	0.49	0.49	0.48	0.47	0.47	0.46	
Sol végétalisé exposé		Décalage	-2	-1	-3	-4	0	-5	
		Corrélation	0.44	0.43	0.43	0.40	0.39	0.35	

Les meilleures corrélations entre l'exposition et la concentration en oxygène sont obtenues pour le lac de Parentis-Biscarrosse. La superficie de ce dernier étant près de deux fois supérieure à celle du lac de Lacanau, il est probable que la longueur plus importante des fetchs dans le lac de Parentis-Biscarrosse génère un hydrodynamisme plus intense, susceptible d'induire un brassage des eaux plus important à l'extérieur ainsi qu'à l'intérieur des herbiers denses d'hydrophytes. Une augmentation de l'exposition aux vents et une augmentation de la concentration en oxygène peuvent survenir instantanément (décalage de 0), soit avec un décalage important pouvant atteindre 17 heures. Les décalages les plus importants dans les données d'exposition pour l'obtention des meilleures corrélations avec la concentration en oxygène sont observés dans le lac de Lacanau. Le vent devrait donc souffler plus

longtemps pour provoquer un brassage des eaux suivi d'une augmentation de la concentration en oxygène. Assez logiquement, ces relations sont légèrement plus fortes dans les zones exposées aux vents et aux vagues. Cependant, dans le lac de Parentis-Biscarrosse, aucune différence dans les résultats obtenus n'est observée entre la zone abritée et la zone exposée aux vents : l'augmentation de l'oxygénation des eaux y survient de façon relativement rapide (moins de 10 heures au maximum) suite à une augmentation de l'exposition aux vents et aux vagues. Seule la station « sol nu » abritée du lac de Parentis-Biscarrosse présente des corrélations comparables à celles observées dans le lac de Lacanau.

Ces données ont servi à réaliser différents modèles autorégressifs appliqués aux séries temporelles. La comparaison des différents modèles utilisés indique que l'ajout des données décalées dans le temps améliore légèrement la qualité prédictive du modèle d'origine ne prenant pas en compte ces décalages (tableau 7). En effet, les rapports d'erreurs sont légèrement supérieurs à 1, traduisant une amélioration relativement faible de la prédiction suite à l'intégration des données de vents antérieures (décalages). Ceci sous-entend que la prise en considération de ces décalages n'améliore pas l'étude des relations entre l'hydrodynamique et l'oxygénation. Néanmoins, l'ensemble de ces analyses est à approfondir, pour identifier par exemple l'origine des corrélations négatives parfois obtenues pour le lac de Lacanau. L'analyse de la variance de la concentration en oxygène et de la température, intégrant également le phénomène de respiration bactérienne benthique, permettrait d'ajuster le modèle sur les relations entre l'hydrodynamique et l'oxygénation. L'intégration d'un modèle de variance dans les modèles ARIMA utilisés ici permettrait très vraisemblablement une amélioration de la qualité prédictive au vue du comportement des séries brutes (modèle GARCH – ARIMA).

Tableau 7 : Rapports des mesures d'erreurs pour l'évaluation de la qualité de la prédiction (erreur moyenne absolue (MAE) et erreur quadratique moyenne (RMSE)) pour les différents modèles prédictifs de concentration en oxygène dans les différentes stations

Lac	Station	Rapport d'erreur	
		RMSE	MAE
Lacanau	Sol nu abrité	1,02	1,02
	Sol nu exposée	1,01	1,01
	Sol végétalisé abrité	1,02	1,02
	Sol végétalisé exposé	1,09	1,11
Parentis-Biscarrosse	Sol nu abrité	1,10	1,14
	Sol nu exposé	1,00	0,99
	Sol végétalisé abrité	1,10	1,09
	Sol végétalisé exposé	1,14	1,10

Pour résumer, l'ensemble de ces résultats montrent qu'en dépit d'une biomasse importante de plantes, la libération d'oxygène par la photosynthèse des macrophytes, couplée au brassage de l'eau, est suffisante à maintenir de très bonnes conditions d'oxygénation dans ces lacs. Les épisodes d'hypoxie et d'anoxie sont présents, mais pas seulement en présence des plantes. Les conditions hydrodynamiques jouent un rôle déterminant dans la teneur d'oxygène présent dans les herbiers. Elles sont susceptibles de rompre les déficits en oxygène au sein des herbiers. Ces déficits peuvent

également avoir lieu dans les stations « sol nu », à l'abri du vent, soutenant l'hypothèse du rôle très important des compartiments planctonique (phytoplancton, cyanobactéries) et bactérien dans la dynamique de l'oxygène au niveau de ces stations.

4. Exploitation des résultats et valorisation

La valorisation des résultats acquis dans le projet AquaVIT s'est traduit par plusieurs publications dans des revues nationales et internationales. Ces publications s'appuient sur les connaissances acquises dans les lacs Aquitains en lien avec les questions posées dans le projet AquaVIT. Elles confirment la forte influence de l'hydrodynamique sur la distribution des hydrophytes exotiques dans les zones littorales des lacs, ainsi que sur les variations des gaz et de nutriments dans la colonne d'eau colonisée par ces plantes aquatiques. Une des publications présente la cartographie des sédiments et le rôle des sédiments en tant que bioréacteurs. Le résultat de ces études confirme les hypothèses de départ : *E. densa* et *L. major* agissent comme des espèces-ingénieurs au niveau local. La persistance d'une densité et d'une biomasse fortes de plantes dans certaines anses engendre des quantités de matière organique très importantes qui stimulent les processus de respiration, la consommation d'oxygène et le rejet de dioxyde de carbone et de méthane dans l'eau et, potentiellement, dans l'atmosphère en automne et au printemps.

Une communication invitée lors des Journées Techniques sur la Chaîne des Lacs et Étangs du littoral Aquitains organisées à Biscarrosse par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne les 17 et 18 octobre 2018 (Ribaud, 2018) a permis de présenter les résultats acquis à ce jour dans le projet AquaVIT devant plusieurs dizaines d'élus locaux, de gestionnaires, d'usagers et de scientifiques. De plus, une présentation des résultats acquis dans le projet a été réalisée à Lacanau devant une centaine d'usagers des lacs aquitains lors d'une réunion publique sur la thématique des plantes exotiques envahissantes à la demande des gestionnaires du SAGE des Lacs Médocains le 5 octobre 2018 (Bertrin, 2018). Une autre communication a été faite lors d'une commission locale de l'eau des lacs Born et Buch à Parentis le 26 avril 2018 (Anschutz et Charbonnier, 2018). Enfin, un travail en projet tutoré mené par deux étudiantes de l'ENSEGID (CHABENAT Audrey et GAMAIN Manon) a été réalisé de février à mai 2018 sur la question de la modélisation de l'oxygénation dissous dans le lac de Parentis-Biscarrosse. Un stage de M2 a été réalisé à EPOC par Léna Rossi en 2018 sur l'origine de la matière organique dans les lacs.

▪ Publications

Anschutz P., Quenault F., Buquet D., Charbonnier C., Hoffmann F. (2020) « Gestion des milieux et qualité des eaux : le cas du territoire des lacs médocains ». in *La chaîne des lacs et étangs du littoral aquitain*, édité par L'Agence de l'Eau Adour Garonne. Presses Universitaires de Bordeaux, à paraître.

Charbonnier C., Anschutz P. (2020) « Nouvelles connaissances sur le fonctionnement biogéochimique des grands lacs landais. ». In : *La chaîne des lacs et étangs du littoral aquitain*, édité par L'Agence de l'Eau Adour Garonne. Presses Universitaires de Bordeaux, à paraître.

Canredon A., Anschutz P., Buquet D., Charbonnier C., Amouroux D., Tessier E., Poirier D., Bujan S., Devaux L., Gouillieux B., Gentès S., Legeay A., Feurtet-Mazel A., Galaup S., Maury-Brachet R. (2019) « Lake sediment mercury biogeochemistry controlled by sulphate input from drainage basin ». *Applied Geochemistry* 104, 135–145

Bertrin Vincent, Sébastien Boutry, Didier Alard, Jacques Haury, Gwilherm Jan, Sylvia Moreira and Cristina Ribaud. "Prediction of macrophytes distribution: the role of natural vs anthropogenic physical disturbances". *Applied Vegetation Science* (mars 2018).

Ribaud Cristina, Juliette Tison-Rosebery, Damien Buquet, Gwilherm Jan, Aurélien Jamoneau, Gwenaël Abril, Pierre Anschutz and Vincent Bertrin. « Invasive Aquatic Plants as Ecosystem Engineers in an Oligo-Mesotrophic Shallow Lake ». *Frontiers in Plant Science* (Décembre 2018)

Bertrin Vincent, Sébastien Boutry, Gwilherm Jan, Greta Ducasse, Florent Grigoletto, Cristina Ribaldo (2017) “Effects of wind-induced sediment resuspension on distribution and morphological traits of aquatic weeds in shallow lakes”. *Journal of Limnology* 76(s1): 84-96

Jamoneau Aurélien, Gwilherm Jan, Tom Petitcollin, Cristina Ribaldo (2017) *Biomass as a proxy for available surface area in freshwater macrophytes: influence of seasonality*. *Aquatic Botany* 142: 91-95

▪ **Communications (conférences)**

Bertrin, V. (2019). Biodiversité végétale aquatique, changement climatique et activités humaines. #Tester Demain 2019, C2D, Bordeaux Métropole.

Anschutz P., Ribaldo C., Bertrin V., Rosebery J., Rossi L., Bujan S., Corrège T., Gouillieux B., Devaux L., Poirier D., Charbonnier C. (2019) Effect of invasive hydrophytes on lake benthic biogeochemistry. *11 Symposium for European Freshwater Sciences, Zagreb*

Ribaldo Cristina, Rosebery Juliette, Bertrin Vincent (2017). “Aquatic weeds as ecosystem engineers of shallow lakes”. *Functional Ecology and Ecosystem 2017*. Toulouse

Ribaldo C., Poli A., Jan G., Abril G., Anschutz P., V. Bertrin 2016. “Relation entre hypoxie, émissions de GES et force du vent dans les herbiers denses d’hydrophytes dans les lacs”. Oral, *JILO 2016 – Saint Malo (France)*

Ribaldo C. 2016. “Les hydrophytes exotiques envahissantes: plusieurs approches, plusieurs regards”. Poster, *JILO 2016 – Saint Malo (France)*

▪ **Autres**

Bertrin V. (2018), *Écologie et déterminisme physique des peuplements de macrophytes dans les lacs naturels peu profonds. Application aux grands lacs du littoral aquitain de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse (Gironde, Landes)*, thèse soutenue le 17 décembre 2018 pour l’obtention du doctorat de écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux.

5. Conclusions

Le volet 4 du projet AquaVIT s’est intéressé à l’évaluation des interactions plantes-eau-sédiment à l’aide d’une approche associant biogéochimie, écophysiologie végétale et hydrodynamique. Notamment, nous avons pu :

- décrire la qualité des eaux au sein des herbiers et en périphérie, en termes de rejet de carbone et azote à l’échelle saisonnière, à l’aide de prélèvements ponctuels d’eau ;
- décrire la qualité des sédiments et leur enrichissement en matière organique, à l’aide de prélèvements ponctuels de sédiment ;
- décrire l’influence des conditions hydrodynamiques locales sur l’oxygénation de l’eau, à l’aide de sondes autonomes.

En écologie, l’utilisation de la concentration en oxygène dissous comme indicateur de la qualité de l’eau en fonction des conditions hydrodynamiques locales, est une démarche novatrice. L’occurrence d’épisodes de sous-oxygénation est un critère pertinent pour définir l’impact des herbiers de plantes aquatiques sur le fonctionnement naturel des lacs peu profonds. De même, le suivi des flux sédimentaires couplé aux mesures dans la colonne d’eau permet d’appréhender l’impact des envahissements de macrophytes de façon très intégrée, et transposable méthodologiquement à d’autres systèmes naturels similaires.

Nos résultats sont une invitation à s'éloigner d'une représentation univoque et négative de la présence d'herbiers d'invasives. Nous montrons en fait que, bien au-delà de la quantité de plantes présentes, ce sont les conditions locales de vent qui jouent un rôle essentiel dans le maintien d'une bonne oxygénation de la colonne d'eau. La problématique environnementale est donc contextualisée dans son milieu naturel et local. De même, par l'étude de la relation entre les flux sédimentaires, les concentrations dans la colonne d'eau et la quantité de biomasse, nous montrons que l'assimilation des nutriments par les plantes permet la fixation de ces molécules sous forme de biomasse durant la croissance végétative, le bilan de ces concentrations au sein des herbiers étant comparable à celui mesuré dans les sites dépourvus de plantes.

Références

de Almeida Assunção A.W., Souza B.P., da Cunha-Santino M.B., Bianchini, I. (2016). Formation and mineralization kinetics of dissolved humic substances from aquatic macrophytes decomposition. *Journal of Soils and Sediments* DOI 10.1007/s11368-016-1519-x

de Almeida Assunção A.W., Souza B.P., da Cunha-Santino M.B., Bianchini, I. (2016). Formation and mineralization kinetics of dissolved humic substances from aquatic macrophytes decomposition. *Journal of Soils and Sediments* DOI 10.1007/s11368-016-1519-x

Dutartre, A. (2002). "Évolutions récentes des communautés végétales riveraines des lacs et étangs landais". In Séminaire européen gestion et conservation des ceintures de végétation lacustre Life - nature programme Lac du Bourget, 23–24–25 octobre 2002; Le Bourget du Lac, 59–79. Le Bourget du Lac: Conservatoire du patrimoine naturel de la Savoie.

Barrat-Segretain, M.H., G. Bornette, and A. Hering-Vilas-Bôas. (1998). "Comparative abilities of vegetative regeneration among aquatic plants growing in disturbed habitats." *Aquatic Botany* 60: 201–211.

Bertrin, V., Boutry, S., Dutartre, A., Lambert, E., (2013). Communautés de Characées des lacs médocains (Sud-Ouest de la France). *Éléments d'écologie et de distribution: Characeae communities in the Medoc area lakes (South-West France). Elements of ecology and distribution. Acta Botanica Gallica* 160: 131-140.

Bertrin, V., Boutry, S., Jan, G., Ducasse, G., Grigoletto, F. & Ribaud, C. (2017). Effects of wind-induced sediment resuspension on distribution and morphological traits of aquatic weeds in shallow lakes. *Journal of Limnology*, 76 : 84-96

Bertrin Vincent, Sébastien Boutry, Didier Alard, Jacques Haury, Gwilherm Jan, Sylvia Moreira and Cristina Ribaud. "Prediction of macrophytes distribution: the role of natural vs anthropogenic physical disturbances". *Applied Vegetation Science* (mars 2018).

Bertrin V. (2018). *Écologie et déterminisme physique des peuplements de macrophytes dans les lacs naturels peu profonds. Application aux grands lacs du littoral aquitain de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse (Gironde, Landes)*, thèse soutenue le 17 décembre 2018 pour l'obtention du doctorat de écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, Université de Bordeaux.

Bianchi T.S. (2011). The role of terrestrially derived organic carbon in the coastal ocean: A changing paradigm and the priming effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49):19473-19481

Bodelier, P.L., J.A. Libochant, C.W.P.M. Blom, and H.J. Laanbroek. (1996). "Dynamics of nitrification and denitrification in root-oxygenated sediments and adaptation of ammonia-oxidizing bacteria to low-oxygen or anoxic habitats." *Applied and Environmental Microbiology* 62 (11): 4100–4107.

Bolpagni, R., E. Pierobon, D. Longhi, D. Nizzoli, M. Bartoli, M. Tomaselli, and P. Viaroli. (2007). "Diurnal exchanges of CO₂ and CH₄ across the water-atmosphere interface in a water chestnut meadow (*Trapa natans* L.)". *Aquatic Botany* 87: 43-48

- Buquet, D., Anschutz, P., Charbonnier, C., Rapin, A., Sinays, R., Canredon, A., et al. (2017). Nutrient sequestration in Aquitaine lakes (SW France) limits nutrient flux to the coastal zone. *J. Sea Res.* 130, 24–35.
- Canredon A., Anschutz P., Buquet D., Charbonnier C., Amouroux D., Tessier E., Poirier D., Bujan S., Devaux L., Gouillieux B., Gentès S., Legeay A., Feurtet-Mazel A., Galaup S., Maury-Brachet R. (2019). Lake sediment mercury biogeochemistry controlled by sulphate input from drainage basin. *Applied Geochemistry* 104, 135–145
- Carpenter, S. R. & Lodge, D. M. (1986). Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes *Aquatic Botany*, 26, 341 – 370
- Carvalho, P., S.M. Thomaz, and L.M. Bini. (2005). Effects of temperature on decomposition of a potential nuisance species: the submerged aquatic macrophyte *Egeria najas* Planchon (Hydrocharitaceae). *Brazilian Journal of Biology*. 65 (1): 51–60.
- Castagnos, E. & Dutartre, A. (2001). Evolutions récentes des peuplements de plantes aquatiques exotiques dans les lacs et les étangs landais (Landes, France). Cemagref
- Chamier, J., K. Schachtschneider, D.C. Le Maitre, P.J. Ashton, and B.W. van Wilgen. (2012). “Impacts of invasive alien plants on water quality, with particular emphasis on South Africa”. *Water SA* 38 (2): 345-356
- Charles, E., Idier, D., Delecluse, P., Déqué, M. & Le Cozannet, G. (2012). Climate change impact on waves in the Bay of Biscay, France *Ocean Dynamics*, Springer-Verlag, 62, 831-848
- Dutartre A. & Oyarzabal J. (1993) Gestion des plantes aquatiques dans les lacs et les étangs landais. *Hydroécologie Appliquée* 5, 43-60
- Dutartre, A. (1996). Colonisation du lac de Lacanau par des plantes aquatiques exotiques. Compte rendu de visite et commentaires Cemagref, Groupement de Bordeaux, Division Qualité des Eaux
- Dutartre, A. (2002). Panorama des modes de gestion des plantes aquatiques : nuisances, usages, techniques et risques induits. *Ingénieries - E A T*, 29-42.
- Findlay S., Carlough L., Crocker M.T., Gill H.K., Meyer J.L., Smith P.J. (1986). Bacterial growth on macrophyte leachate and fate of bacterial production. *Limnology and Oceanography*, 31(6):1335-1341
- Grieshaber M. K., I. Hardewig, U. Kreutzer, H.-O. Pörtner, (1994). Physiological and metabolic responses to hypoxia in invertebrates. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology* 125: 43-147
- Guenet B., Danger M., Abbadie L., Lacroix G. (2010). Priming effect: bridging the gap between terrestrial and aquatic ecology. *Ecology*, 91(10):2850-2861
- Haramoto, T., and Ikusima, I. (1988). Life cycle of *Egeria densa* Planch., an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquat. Bot.* 30, 389–403
- Imboden, D. M., Lemmin, U., Joller, T., & Schurter, M. (1983). Mixing processes in lakes: Mechanisms and ecological relevance. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*, 45(1), 11-44.
- Keddy, P. A. (1982). Quantifying within-lake gradients of wave energy: Interrelationships of wave energy, substrate particle size and shoreline plants in axe lake, Ontario. *Aquatic Botany*, 14, 41-58
- Laenen, A. & LeTourneau, A. (1996). Estimate of wind-induced resuspension of bed sediment during periods of low lake elevation. Upper Klamath Basin nutrient loading study US geological Survey., Portland, Oregon
- Laplace-Treytoure, C. & Moreira, S. (2016). Rapport d'activité du suivi scientifique des plans d'eau de Carcans-Hourtin, Lacanau, Cazaux-Sanguinet et Parentis-Biscarrosse : année 2014
- Madsen, J. D.; Chambers, P. A.; James, W. F.; Koch, E. W. & Westlake, D. F. (2001). The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes *Hydrobiologia*, 444, 71-84
- Maréchal, T. (2019). Etude de la relation entre oxygène dissous et exposition aux vagues dans les herbiers denses de macrophytes des lacs peu profonds du littoral aquitain. Master 2 Modélisation des Systèmes Ecologiques (MSE). Irstea

- Mazzeo, N., L. Rodríguez-Gallego, C. Kruk, M. Meerhoff, J. Gorga, G. Lacerot, F. Quintans, M. Loureiro, D. Larrea, and F. García-Rodríguez. (2003). "Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish". *Hydrobiologia* 506-509: 591-602
- Miranda, L.E., and Hodges, K.B. (2000). Role of aquatic vegetation coverage on hypoxia and sunfish abundance in bays of a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 427(1): 51–57.
- Monismith, S. G. (1985). Wind-forced motions in stratified lakes and their effect on mixed-layer shear. *Limnology and oceanography*, 30(4), 771-783.
- Miranda L.E., M.P. Driscoll and M.L. Allen, (2000). Transient physicochemical microhabitats facilitate fish survival in inhospitable aquatic plant stands. *Freshwater Biology* 44: 617–628
- Portielje, R.; Bertrin, V.; Denys, L.; Grinberga, L.; Karottki, I.; Kolada, A.; Krasovskiene, J.; Leputé, G.; Maemets, H.; Ott, I.; Phillips, G.; Pot, R.; Schaumburg, J.; Schranz, C.; Soszka, H.; Stelzer, D.; Sondergaard, M. & Willby, N. (2014). Water Framework Directive Intercalibration Technical Report: Central Baltic Lake Macrophyte ecological assessment methods Publications Office of the European Union
- Rai, D.N., and J.S. Datta Munshi. (1979). The influence of thick floating vegetation (water hyacinth: *Eichhornia crassipes*) on the physico-chemical environment of a fresh water wetland. *Hydrobiologia* 62: 65–69.
- Raun A.L., Borum J. & Sand-Jensen K. (2010) Influence of sediment organic enrichment and water alkalinity on growth of aquatic isoetid and elodeid plants. *Freshwater Biology*, 55, 891–1904.
- Ribaudo, C., Bertrin, V., & Dutartre, A. (2014). Dissolved gas and nutrient dynamics within an *Egeria densa* planch. bed. *Botany Letters* 161:233–241
- Ribaudo, C., Jan, G., Bertrin, V. (2015). Interactions entre macrophytes et qualité de l'eau : le cas des isoétides et des exotiques dans les lacs aquitains. Rapport CARMA, 40 p.
- Ribaudo, C., Jan, G., Bertrin, V. (2016). Distribution spatiale des herbiers d'hydrophytes exotiques dans les grands lacs aquitains. Rapport CARMA
- Ribaudo, C., Tison-Rosebery, J., Buquet, D., Jan, G., Jamoneau, A., Abril, G., ... & Bertrin, V. (2018). Invasive aquatic plants as ecosystem engineers in an Oligo-Mesotrophic shallow lake. *Frontiers in plant science*, 9, 1781.
- Rodrigues, R.B., and S.M. Thomaz. (2010). "Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation." *Aquatic Botany* 92: 281–284.
- Schutten, J. & others. (2005). Biomechanical limitations on macrophytes in shallow lakes Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica (IBED)
- Suzuki, M. S., Fonseca, M. N., Esteves, B. S., and Chagas, G. G. (2015). Decomposition of *Egeria densa* planchon (Hydrocharitaceae) in a well oxygenated tropical aquatic ecosystem. *J. Limnol.* 74, 278–285.
- Tavecchio, W. L. G., and Thomaz, S. M. (2003). Effects of light on the growth and photosynthesis of *Egeria najas* planchon. *Braz. arch. Biol. Technol.* 46, 203–209.
- Verberk W.C.E.P., Bilton D.T., Calosi P., Spicer J.I., 2011. Oxygen supply in aquatic ectotherms: partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns. *Ecology*, 92: 1565-1572
- Viaroli P. and R.R. Christian, (2004). Description of trophic status, hyperautotrophy and dystrophy of a coastal lagoon through a potential oxygen production and consumption index—TOSI: Trophic Oxygen Status Index. *Ecological Indicators*, 3(4): 237-250
- Ward N.D., Bianchi T.S., Sawakuchi H.O., Gagne-Maynard W., Cunha A.C., Brito D.C., ... & Richey J.E. (2016). The reactivity of plant-derived organic matter and the potential importance of priming effects along the lower Amazon River. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*.
- Winton, M., and J. Clayton. 1996. "The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments." *Aquatic Botany* 53: 32–46.
- Yarrow, M., Marin, V. H., Finlayson, M., Tironi, A., Delgado, L. E., and Fischer, F. (2009). The ecology of *Egeria densa* planchon (Liliopsida: Alismatales): a wetland ecosystem engineer? *revista chilena de historia natural.* 82, 299–313.

Zilius, M., M. Bartoli, M. Bresciani, M. Katarzyte, T. Rignis, J. Petkuvienė, I. Lubiene, C. Giardino, P.A. Bukaveckas, R. de Wit & A. Razinkovas-Baziukas, (2014). Feedback mechanisms between cyanobacterial blooms, transient hypoxia, and benthic phosphorus regeneration in shallow coastal environments. *Estuaries and Coasts* 37: 680–694

LIVRET 2

Résultats détaillés du projet AquaVIT : le point de vue des Sciences Humaines et sociales²

Dehez J., Le Floch S., Ginelli L.
INRAE Bordeaux Nouvelle Aquitaine, Unité ETBX
Août 2020

1. Introduction

Les lacs et étangs du littoral aquitain ont commencé à se former il y a moins de 4 000 ans, par l'obstruction des fleuves côtiers provenant du plateau, à l'est, et par l'accumulation des eaux derrière les dunes faisant barrage, à l'ouest. De superficies variables³, ces lacs sont caractérisés par une profondeur moyenne faible (généralement <3m), ainsi que des niveaux trophiques hétérogènes (oligo-mésotrophe à hypereutrophes). Les réseaux hydrographiques ainsi constitués s'étendent sur environ 200 km, depuis le Médoc au nord jusqu'à l'embouchure de l'Adour au sud. Sous un climat océanique, il offre une diversité de milieux favorables aux plantes aquatiques exotiques (Dutartre & Fare, 2002). Quatre espèces en particulier sont considérées comme posant problème depuis quelques décennies : *Ludwigia peploïdes*, *Lagarosiphon major*, *Myriophyllum brasiliense*, *Egeria densa* (Thiébaud & Dutartre, 2009).

Le développement de ces plantes aquatiques invasives croise les trajectoires économiques et sociales suivies par ces territoires littoraux et rétrolittoraux, qui sont parmi les plus attractifs de Nouvelle-Aquitaine (Mora, Banos *et al.* 2012, Bernard, Dehez *et al.* 2013, Dehez 2013). Ces espaces sont, en effet, une composante essentielle du triptyque « océan-lacs-forêt » régional. Ils sont utilisés pour la pratique d'activités telles que la marche et la baignade, la pêche, la chasse, le nautisme, ainsi que nombre de sports de nature (kitesurf, stand up paddle...) dont l'essor rapide n'est pas sans questionner les gestionnaires (Ginelli 2017)⁴. De part de leur caractère envahissant, qui entrave certaines activités de loisir, il n'est guère étonnant que les plantes aquatiques invasives aient, depuis plus de trente ans, été l'objet d'une réelle attention de la part des gestionnaires, élus et scientifiques locaux, faisant de la région Aquitaine un territoire d'expérimentation pionnier en la matière (Dutartre 2002, Dutartre et Oyarzabal, 1993). Depuis les années 1980, elles sont étudiées et font l'objet de pratiques de gestion, dont certaines s'inscrivent dans le cadre de collaborations avec des scientifiques et font l'objet d'actions coordonnées (Dutartre & Oyarzabal, 1993). Pour autant, reconnaissons que les principales avancées ont été obtenues sur les techniques et la cartographie des plantes

² Note extraite du rapport final du projet AquaVIT « Quand les plantes aquatiques invasives transcendent les frontières des lacs Aquitains: approche pluridisciplinaire des relations entre espèces, milieux et gestionnaires », Programme PSDR-INRAE – CCRRDT Nouvelle Aquitaine.

³ Avec 5.600 hectares, le lac de Carcans Hourtin, situé en Gironde, est le plus grand lac d'eau douce de France. Le contraste est saisissant avec des sites tels que les étangs de Moïsan (6 ha), de Moliets (7 ha) ou du Turc (8 ha), situés plus au Sud, dans les Landes, qui sont tout autant confrontés au développement des plantes aquatiques invasives.

⁴ En 2006 par exemple, près de 7 Aquitains sur 10 (69 %) déclaraient se rendre près des « plans d'eau et des rivières » durant leur temps libre (en dehors des vacances), ce qui les plaçait au troisième rang des espaces les plus visités, derrière la campagne et la forêt, mais devant les plages océanes.

(Dutartre *et al.* 1989, Dutartre *et al.* 1997, Bertrin *et al.* 2007, Bertrin *et al.* 2012), et que les attentes actuelles portent au moins autant sur des questions d'ordre organisationnel et institutionnel (Menozzi 2006, Dutartre et Menozzi 2008).

Dans ces conditions, le projet de recherche AquaVIT vise à accompagner l'évolution des modalités de gestion des grands lacs aquitains, en tant qu'espaces d'activités récréatives et touristiques, confrontés à des enjeux environnementaux liés aux colonisations par les plantes aquatiques invasives. La présente note décrit plus particulièrement des aspects abordés par les chercheurs en Sciences Humaines et Sociales investis dans le projet.

2. Gestionnaires et acteurs impliqués dans la gestion : formes multiples de catégorisation et d'action.

2.1. Introduction

La gestion des plantes invasives serait marquée d'un paradoxe. D'un côté, la catégorie « plantes invasives » serait a priori bien définie, plus ou moins consensuellement véhiculée par la littérature scientifique comme par les documents administratifs : elle désignerait des plantes exotiques dont le fort potentiel de développement poserait des problèmes écologiques et/ou socio-économiques⁵. Une telle catégorisation appellerait un principal objectif d'action a priori évident et universel : éradiquer (Menozzi, 2010 ; Woods & Moriarty, 2001). De l'autre côté, les effets des pratiques découlant de cet objectif seraient souvent loin d'être ceux attendus : les plantes sont toujours là, parfois même après des décennies de lutte (Delbart et al., 2012). Aussi, depuis plusieurs années, une littérature experte recommande l'abandon des actions radicales, jugées coûteuses et inefficaces, au profit de l'objectif beaucoup plus souple de « gestion », de « contrôle » (Dutartre & Fare, 2002).

Les sciences humaines et sociales, qui se saisissent de manière croissante de la thématique des espèces invasives depuis plus de dix ans (Head, 2017), proposent aujourd'hui deux analyses différentes de ce paradoxe. Une littérature critique y voit un « échec » des pratiques de gestion, qu'elle attribue à la propension des experts et des gestionnaires à continuer à vouloir imposer des catégories fixistes et des frontières étanches, même aux plus changeantes des matérialités et aux plus complexes des phénomènes biophysiques (Barker, 2008). Une approche relationnelle offre une autre lecture de l'intervention sur les plantes invasives, qui inviterait à nuancer les « ratés » des pratiques de gestion en se focalisant non pas tant sur les acteurs que sur les relations entre acteurs et autres composantes de l'environnement (Barker, 2008 ; Head et al., 2014). Nous nous inscrivons dans une telle approche, qui nous semble pertinente afin de traiter de la problématique qui est la nôtre : si l'on devait adhérer au constat couramment fait de l'« échec » des pratiques de gestion, comment expliquer que sur le terrain il continue à se faire partout et sans cesse de nombreuses actions ? Notre hypothèse est que les actions ne sont pas toutes infructueuses au regard des acteurs qui les mettent en œuvre et/ou sont témoins de leurs effets ; et que d'innombrables petites batailles sont gagnées contre les espèces invasives parce que les processus de catégorisations les concernant intègrent l'indétermination des comportements des plantes, leur mobilité... Autrement dit, ce serait en leur reconnaissant une certaine « capacité d'action » (Doody et al., 2014) que les acteurs, sur le terrain, parviendraient à engager des négociations quant à leurs relations à ces plantes dans un environnement donné.

En testant cette hypothèse, nous visons à rendre intelligible la diversité des façons de penser et d'agir au quotidien non seulement contre, mais éventuellement avec, les plantes dites « invasives ». Le concept de 'catégorisation' est central dans notre projet : « the key process is the bounding and delimiting of the categories used to understand the world », ce monde dont nous faisons l'expérience particulière au travers de nos connaissances, de nos actions (Jones, 2009). « The question of defining invasives as such in the first place is by no means materially irrelevant, for it influences human response and determines the resources dedicated for the protection or eradication of species » (Robbins, 2004).

Notre recherche repose sur un matériau empirique (entretiens, documents de gestion...) recueilli auprès de personnes intervenant ou susceptibles d'intervenir dans la gestion des plantes aquatiques invasives des lacs rétro-littoraux aquitains. Les 28 entretiens que nous

⁵

<https://www.iucn.org/theme/species/our-work/invasive-species> ;
https://ec.europa.eu/environment/nature/invasivealien/index_en.html

avons conduits depuis 2018, représentant environ 40 h d'enregistrement entièrement transcrites, ont permis de recueillir les témoignages de 38 personnes : personnels techniques des services déconcentrés de l'Etat et de différentes collectivités territoriales, élus locaux, responsables d'associations d'usagers des différents lacs et d'associations environnementalistes, riverain qui prend l'initiative de « désherber » devant sa plage, etc. Nous les avons interrogés sur leurs activités associées aux lacs, les évolutions du milieu et les problèmes qu'ils observent ainsi que leurs éventuelles actions de « lutte » contre les plantes aquatiques.

Nous présenterons d'abord l'approche relationnelle de la catégorisation retenue afin d'identifier et de comprendre les façons de voir et de faire relatives aux plantes aquatiques à l'œuvre chez les personnes interrogées. Nous exposerons ensuite les spécificités des catégorisations identifiées chez ces personnes, et notamment leur « fluidité ». Enfin, nous analyserons les conceptions de l'action qui leur sont associées et qui se déclinent sous l'expression de « vivre avec ». Nous concluons sur l'importance de reconnaître l'indétermination dans la gestion de milieux naturels soumis à des changements environnementaux.

2.2. Une approche relationnelle de la catégorisation

2.2.1. Catégoriser le vivant : une activité humaine ordinaire

L'anthropologie, et les ethnosciences en particulier, ont largement montré comment l'activité consistant à discriminer et à catégoriser les êtres vivants est une activité humaine fondamentale ancrée dans la vie sociale ordinaire – c'est-à-dire loin de ne concerner que l'activité scientifique. Elle consiste à « ranger » les êtres dans des catégories organisées en systèmes et construites sur des critères qui peuvent être déterminés a priori (Douglas, 1966) et/ou déduits de l'observation et liés aux pratiques (Ellis, 2011 ; Friedberg, 1999). Bien que les catégories soient presque toujours fluides et perméables, elles sont perçues comme des « conteneurs » ayant des limites fermées, fixes, stables (« containers » : Jones, 2009). Si les anthropologues reconnaissent qu'il existe des « catégories complexes », intégrant des critères appartenant à différents registres (spatial, juridique...) (Friedberg, 1999), les géographes ont produit des connaissances significatives sur les entités que nous nommons et délimitons afin de leur attribuer des différences et des particularités pertinentes du point de vue de nos jugements et actions dans l'environnement, en intégrant la dimension spatiale de ces entités. Quelques champs en particulier sont à l'origine d'apports déterminants : la *Political ecology* pour ce qui est des relations entre catégories cartographiques et aménagement (Robbins, 2001a...); la géographie politique sur les notions de pouvoir et de frontières territoriales (Newman & Paasi, 1998 ; Painter, 2008...); la géographie culturelle sur la construction de catégories géographiques décisives pour l'organisation sociale et l'action des sociétés sur leur environnement (Debarbieux, 2004...), etc.

Bien que la littérature de sciences sociales en général souligne que catégories et pratiques entretiennent des relations étroites, c'est souvent pour insister sur le lien qui va des premières aux secondes : les classifications ne servent pas qu'à décrire le monde, elles définissent les possibilités d'action dans ce monde (Waterton, 2003). Les travaux accordant une attention au processus même de la catégorisation, et en particulier à la façon dont il se nourrit de l'observation et de la pratique, sont beaucoup moins répandus que ceux qui s'intéressent aux résultats de ce processus et à leur distribution dans une population ; ainsi apparaît le paradoxe des catégories qui, bien que faites pour éclairer le monde, masquent souvent la complexité des phénomènes qui s'y produisent réellement (Jones, 2009). En outre, leur stabilité n'est souvent qu'apparente : elles sont en constant devenir, l'activité consistant à en fixer les frontières étant éminemment politique (Robbins, 2001a). Ce caractère changeant est à mettre

en relation avec le caractère situé des catégories : des travaux de sociologie ont mis en évidence la façon dont elles émergent dans le cours de l'action (Gusfield, 1996 ; Waterton, 2003) et y produisent des polarisations et des hiérarchisations (Chauvin, 2006 ; Claeys, 2013). Certaines deviennent des cadres d'expériences plus génériques mais toujours révisables (Céfaï & Terzi, 2012), en particulier sous l'effet de dynamiques sociales⁶, mais aussi sous l'effet d'interactions avec le vivant, comme le soulignent notamment les travaux sur les espèces invasives (Claeys, 2013 ; Mougenot & Roussel, 2005).

2.2.2. Les « espèces invasives » : une catégorie scientifique controversée, une catégorie pratique méconnue

Dans le domaine des relations homme-nature et des problèmes environnementaux, certaines catégories sont particulièrement en première ligne. Les « espèces invasives » sont de celles-là. Des institutions internationales comme l'UICN ou l'UE les désignent couramment comme une des principales causes de la perte globale de biodiversité. Ainsi, au carrefour de la science, de l'expertise et de la politique, la notion d'espèce invasive désigne une espèce introduite par l'homme en dehors de son aire de répartition naturelle, dont l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques et/ou économiques et/ou sanitaires négatives. Telle qu'institutionnalisée dans ce champ, cette catégorie est construite autour de trois critères principaux : l'origine, le comportement, l'impact (Boonman-Berson et al., 2014). C'est autour de la définition de l'IUCN, reprenant ces 3 critères, que la catégorie « espèces invasives » tend à être naturalisée, au fur et à mesure de sa diffusion dans les médias, les brochures destinées au grand public, etc. (Menozzi, 2010).

An alien species is a species introduced outside its natural past or present distribution; if this species becomes problematic, it is termed an invasive alien species (IAS). IAS (...) may lead to changes in the structure and composition of ecosystems detrimentally affecting ecosystem services, human economy and wellbeing.. (<https://www.iucn.org/theme/species/our-work/invasive-species>)

Pourtant, une revue de la littérature montre, d'une part, que cette définition est contestée et qu'il existe des controverses scientifiques sur chacun des critères (Atlan & Darrot, 2012 ; Menozzi, 2010...), notamment sur le critère « origine » (voir par exemple la violente controverse dans *Nature* : Davis et al., 2011 ; Simberloff, 2011...) ; à tel point que des auteurs plaident pour son abandon dans le domaine opérationnel (Tassin & Kull, 2012). Elle montre, d'autre part, qu'il existe un décalage entre cette définition essentiellement discutée dans les milieux scientifiques et experts et la façon dont les populations et acteurs locaux appréhendent au quotidien des plantes catégorisées par les premiers en termes d'invasives⁷. Ces travaux se polarisent notamment sur la remise en cause du critère de « l'origine », voire sur l'aspect « impacts » (Doody et al. 2014). Et cependant, cette catégorie a la vie dure : elle est largement présente dans les documents techniques relatifs à l'aménagement du territoire ou à la gestion des espaces protégés, ainsi que dans la presse (Head, 2017). En outre, l'essentiel des travaux sur les « représentations » ou les « perceptions » de plantes invasives est consacré au grand public, avec l'idée sous-jacente qu'il faut infléchir ces représentations afin de lever les barrières à la mise en œuvre des politiques déterminées par les experts ; mais on ne sait encore que relativement peu de choses sur la façon dont les usagers et les

⁶ En sociologie en particulier, les changements de catégorisations ont surtout été analysés au prisme des désaccords voire des « luttes définitionnelles » visant à ériger une catégorie en problème public (Felstiner, Abel & Sarat, 1980 ; Gusfield, 1996 ; Snow et al., 1986).

⁷ Au-delà du cas des espèces invasives, il existe de nombreux travaux montrant les divergences dans les façons de qualifier l'environnement entre experts et populations locales (Robbins, 2001b).

gestionnaires appréhendent globalement les phénomènes liés à la dynamique des populations de plantes dans un milieu donné (Head, 2017).

2.3. La nécessité de compter avec les plantes

A partir du cas de la gestion de plantes aquatiques des lacs rétro-littoraux aquitains, notre objectif est de mieux comprendre la façon dont les catégorisations des « espèces invasives » émergent et évoluent dans le cours de l'action, tout en influençant cette dernière en retour. Au regard de cet objectif, nous nous appuyons sur des travaux de géographie relationnelle et de sociologie pragmatique, de manière à considérer en profondeur les relations qui se nouent, d'une part entre les acteurs sociaux, d'autre part entre les acteurs sociaux et leur environnement matériel et spatial.

En géographie, la question sociale des plantes invasives est abordée, entre autres, par des auteurs qui défendent ces approches relationnelles : « [they] argue for relational approaches whereby the characteristics of phenomena are constituted in the process of their relationships with other phenomena, including entanglements between humans and other species » (Head, 2017). Nous trouvons dans cette littérature différents concepts suggérant d'aborder les plantes comme « acteurs » (« *key players* ») des phénomènes qui les impliquent. Head et al. (2014) définissent ainsi les « capacités d'action » des plantes (« *plant capacities* ») :

« the shared capacities of one grouping of beings called plants, and the differences they bring to relations with humans and others. We understand plant capacities as relational achievements, the relations in question enacted with the sun, water and soil, and also often with humans and other animals. These are contingent relationships in which categories and forms should not be reified, even though they may congeal and be stabilised for very long period of time. »

Bien que formulée un peu différemment, l'idée est la même chez Doody et al. (2014). Parlant de « *plantiness and planty agencies* », ces auteurs considèrent les plantes en tant que participants actifs du monde social : « plants are active participants in the social lives of gardeners seeking to control them, and scientists who continually attempt to classify, predict and assess their risk ». Barker (2008), s'intéressant au processus de catégorisation relatif à l'ajonc en Nouvelle-Zélande, développe une analyse empirique fine qui montre la capacité d'action de cette plante : « gorse itself has interjected » ; « the categorisation practices described also give nonhumans a status in the decision-making process ». Dans la lignée de ces travaux, nous considérons les plantes « invasives » comme des participants actifs des phénomènes relationnels : ce qu'elles font *comptent* dans les relations et les pratiques sociales qui émergent dans, par et pour un environnement donné. « The policy rhetoric of invasive plant management is very much about human control ; however, the experience is often rather different on the ground, where no practitioner doubts the agency of plants » (Head et al. 2014).

De la sociologie pragmatique, nous retenons en particulier l'intérêt pour les processus d'apprentissage et la façon de les appréhender, en tant que processus qui permettent aux individus d'ajuster en permanence le déploiement de leurs activités dans l'environnement. L'approche pragmatique peut être définie comme une approche sociologique capable de donner la priorité à l'expérience sensible, aux incessants contacts corporels des personnes avec leurs environnements (Bessy & Chateauraynaud, 2015). Il s'agit de mettre l'accent sur le caractère processuel et relationnel de la vie sociale (Céfal, 2016), d'être attentif aux interdépendances (Mougenot & Roussel, 2005) entre les personnes et leurs environnements, desquelles émergent l'habileté, l'apprentissage et la compréhension⁸ (Bessy & Chateauraynaud, 2015).

⁸ Bessy & Chateauraynaud (2015) décrivent une approche à la fois relationnelle et pragmatique : « [an approach] capable of identifying (...) the small differences, details and micro-variations from which we develop the

En ne séparant pas le produit compartimenté des processus sociaux (la catégorie « plante invasive ») du processus de catégorisation (toujours en devenir dans le cours de l'action), nous essaierons d'éviter des conclusions en termes de « mauvais usage » de telle ou telle catégorie (Jones, 2009). Ou encore en termes de « décalage » entre les effets censés découler d'objectifs d'action associés à une catégorie bien déterminée et les effets « réels » observés sur le terrain. Nous préférons faire l'hypothèse qu'une telle approche peut renouveler la compréhension de l'action sur les plantes « invasives », voire montrer qu'il peut y avoir une conception ouverte de cette action : d'autres histoires que celle de l'« éradication » peuvent exister.

2.4. « Plantes invasives » : vers une catégorie fluide

2.4.1. La tension entre conception fixiste et conception fluide

Dans les témoignages relatifs aux plantes aquatiques des lacs aquitains que nous avons recueillis, nous observons une tendance à mobiliser la catégorie « invasives » en tant que catégorie fixe et bien bornée, dotée de frontières qui distinguent et identifient ; et une tendance à relater l'expérience quotidienne que les acteurs font des mêmes plantes sans qu'il soit obligatoirement fait référence à elles en tant qu'« invasives ». Ainsi, nous observons non seulement qu'une espèce est ou n'est pas dans la catégorie « invasives » selon les acteurs, les endroits, les moments... mais encore que, pour un même acteur, une espèce peut entrer ou sortir de la catégorie selon les moments, les enjeux considérés, etc. Il existe clairement une tension entre une conception fixiste de la catégorie « invasives », et une conception pratique beaucoup plus souple, qui accorde la prééminence à l'expérience, et donc à la façon dont sont pensées les relations entre la plante, les usagers, les autres composantes de l'environnement... Cette seconde conception travaille les catégories de façon à en assouplir les contours, à en fluidifier les contenus. Ci-dessous, nous présentons successivement les deux conceptions de la catégorie « invasives » : la conception fixiste, qui se présente sous la forme d'une définition experte normative des invasives ; la conception fluide, qui se présente sous la forme d'une définition relationnelle des invasives.

Selon la définition experte normative, la plante « invasive » est celle qui est désignée comme telle par des milieux autorisés. Elle est reprise à peu près telle qu'elle émane de scientifiques et d'« experts écologues » (Bouleau et Pont 2014). Nos analyses du matériau d'enquête mettent en lumière une version administrative de cette définition. Elle émane d'acteurs qui ne rentrent pas dans le contenu de la définition mais s'en tiennent à des listes d'espèces classées « invasives » ou « indésirables » par leurs services, et qui sont reprises dans des documents de référence. Cette définition n'est pas la plus fréquente dans notre matériau ; surtout, il faut noter qu'elle est mentionnée peut-être essentiellement pour être relativisée au vu de l'expérience quotidienne. Elle est mobilisée par le représentant d'une administration, qui se réfère aux documents officiels de son institution (interview 1). Les deux autres personnes la mobilisant sont des gestionnaires environnementaux, qui prennent leurs distances explicitement. Elles mettent en avant leur expérience du terrain : ce qui compte est ce qui se passe dans un contexte bien précis et qui relève de leur compétence, renvoyant ainsi à une définition relationnelle, que nous exposerons ultérieurement.

capacity for attentiveness and vigilance that we need not only to detect unusual tendencies but also to handle the routine of ordinary life in society. »

« Quand on voit les dégâts que peut faire la jussie là où elle s'installe, en éradicant tout le reste des cortèges végétaux, oui là ça devient une invasive à problèmes. Alors que la *Polygala curtissii* ici : (...) ça a beau être une nord-américaine, elle est là, on n'y fera rien, elle ne nous pose pas de souci. Parce qu'il n'y a pas de concurrence, quoi ! Elle a trouvé sa place au milieu des autres. » (2^e Réserve naturelle nationale, interview 16)

Nous identifions une seconde version de la définition experte normative : une version écologique, qui s'inscrit dans la lignée des « sciences édéniques » (Robbins & Moore, 2013). Une plante « invasive » est alors considérée comme celle qui participe au phénomène des « invasions biologiques », c'est-à-dire celle qui vient d'ailleurs et prend la place d'une autre. Cette définition est toutefois exprimée rarement et de façon peu claire. Un responsable d'une association environnementaliste précise ainsi que le *Lagarosiphon* « normalement n'est pas une plante de nos régions. Donc dans ce sens-là, le *Lagarosiphon* serait bien une plante invasive » (interview 9). Deux autres enquêtés, issus de collectivité territoriales, mentionnent également l'idée d'exotisme : l'« invasive » serait « une espèce qui vient d'ailleurs et qui vraiment prend le pas sur le reste du moment où elle est implantée dans un autre contexte » (1^{ère} Communauté de communes, interview 3). Mais ce critère de l'exotisme est peu présent et relativisé à l'aune de l'expérience quotidienne. Un environnementaliste (2^e Réserve naturelle nationale, interview 16) apparaît pris en tension entre les deux acceptions du terme. Selon lui, l'« invasive » est

« la jussie, (...) le poisson-chat, le silure glane, l'écrevisse américaine... C'est une catastrophe, parce que c'est l'homme qui ramène des trucs très rapidement, et il en ramène des milliers, des milliers et des milliers tous les ans... au détriment du reste ! »

Mais dans la pratique quotidienne, l'invasive est pour lui

« celle qui provoque des nuisances sur les habitats naturels, c'est-à-dire qui prend la place, qui a une forte concurrence, et qui occupe tout l'espace. Je peux la rapporter à des espèces indigènes ou autochtones. »

Dans le matériau d'enquête recueilli, les témoignages relatifs aux plantes aquatiques, notamment à celles qui sont désignées comme « invasives » dans la littérature experte, donnent largement à voir celles-ci sous un angle relationnel. L'invasive est celle qui apparaît comme telle aux acteurs du fait de relations particulières et complexes que la plante déploierait dans son environnement, que ce soit avec d'autres composantes bio-physiques et/ou avec des usagers du milieu. Il faut noter que, chez de nombreux enquêtés, elle n'est pas systématiquement désignée par son nom d'espèce, qu'il soit connu ou inconnu ; elle est souvent incluse dans des appellations génériques, telles qu'« herbes », « herbiers » voire « algues »⁹...

Cette dimension relationnelle se lit dans l'importance des développements, dans les entretiens, sur les conditions de propagation ainsi que sur les implications écologiques et sociales de la propagation. Ces développements ne sont pas formulés en termes de « causes » ni de « conséquences » du phénomène (pas de vision déterministe), mais en termes d'interrelations entre composantes ou phénomènes. La conjonction de plusieurs facteurs serait importante, dans une vision systémique du phénomène. En particulier, le triptyque « absence de mouvement de l'eau-faible profondeur-température élevée » est le plus fréquemment évoqué comme favorisant les développements végétaux. « Des endroits où il n'y a pas beaucoup d'eau et où c'est très confiné, et où c'est petit, là, la Jussie peut exploser » (Fédération Départementale d'AAPPMA¹⁰, interview 13). La nature du substrat (vaseux plutôt que sableux) jouerait aussi fortement. Chacun de ces facteurs peut lui-même mobiliser des

⁹ A la fin des années 1980, une enquête auprès des gestionnaires, conduites par des spécialistes des milieux, faisait le même constat, concluant à l'imprécision voire au caractère « erroné » des déterminations de plantes aquatiques (Dutartre, 1992).

¹⁰ AAPPMA : Association agréée de pêche et de protection des milieux aquatiques.

composantes multiples du milieu et leurs états particuliers : le vent, les courants, la baisse du niveau d'eau ou la hausse des sédiments, les conditions météorologiques ou le changement climatique... jusqu'à la végétation des abords des plans d'eau. Au chapitre des innombrables liens plante-environnement qui sont examinés par les uns et les autres, il faudrait ajouter la clarté de l'eau, les apports de nutriments d'origine agricole, le piétinement par les baigneurs, etc.

« J'ai fait [le canal entre deux lacs] il y a une vingtaine d'années. Et à l'époque, il y avait du maïs des deux côtés et avec, je pense, beaucoup d'engrais qui partaient dans le canal, parce qu'il fallait relever le moteur toutes les dix minutes parce qu'il y avait de l'herbe partout. (...) Ça pourrait expliquer aussi peut-être... » (Club nautique, interview 11)

Ainsi, les relations plantes-humains sont largement abordées par les enquêtés pour décrire les phénomènes de propagation. L'origine et la propagation des plantes aquatiques sont perçues comme étant à la fois naturelles et anthropiques. Outre l'évocation du rôle des oiseaux ou des courants, plusieurs personnes reprennent la théorie communément avancée¹¹ de l'« abruti qui a vidé l'aquarium » (1^{er} Service municipal de l'environnement, interview 6) et l'idée que les plaisanciers favorisent la propagation, via les hélices des bateaux à moteur : « il paraît évident qu'il y a un lien entre le développement des activités nautiques motorisées et la dissémination des plantes ! » (Syndicat mixte, interview 23). Les actions dédiées à l'entretien des lacs voire spécifiquement au « contrôle » des plantes invasives sont tout autant pointées du doigt.

« J'ai vu les premiers spots de Jussie apparaître sur le canal. Le Myriophylle du Brésil aussi mais particulièrement de la Jussie, alors qu'avant, il n'y en avait pas. Et curieusement, les opérations d'arrachage manuel avaient commencé depuis 2 à 3 ans. Donc (...) je me dis que les actions d'arrachage voire même de faucardage aussi sur le plan d'eau, ont entraîné malgré tout une invasion biologique du canal. » (2^e Technicien de rivière, interview 8)

Ce qui caractérise la conception relationnelle de la plante « invasive », c'est que, du fait de l'abondance des interrelations à prendre en compte entre de nombreuses composantes anthropiques et naturelles des milieux, il est finalement jugé très difficile d'avoir des certitudes sur les phénomènes de développement de la végétation aquatique. Les expressions telles que « on ne sait pas », « on s'interroge »... sont innombrables ; les enquêtés se posent plus de questions qu'ils n'avancent d'explications assurées.

« Je ne sais pas si c'est la nature du sol. (...) Alors, est-ce que c'est le courant ? Est-ce que... Je ne sais pas si c'est lié. (...) Tout le monde se pose la question : est-ce qu'il n'y a pas un rapport... (silence) » (élu municipal, interview 19).

Il est possible de distinguer deux versions de la catégorie relationnelle. Selon une version que nous qualifions de « pragmatique », c'est l'enjeu, socialement défini et localisé, qui fait l'invasive. « C'est pas la plante qui pose problème, c'est, 'quel est l'enjeu dans le milieu' (...). Il faut renverser le problème » (Fédération départementale d'AAPPMA, interview 13). L'enjeu peut être posé en termes d'usages récréatifs ou en termes écologiques. Les aspects négatifs liés au développement d'une plante aquatique sont largement énumérés : écologiques (baisse de la biodiversité, altération du fonctionnement hydraulique, eutrophisation...) et sociaux (gêne à la circulation nautique et à l'accès à l'eau pour les pêcheurs...). Des aspects positifs sont également soulignés. Chaque plante est considérée comme spécifique et inféodée à un contexte précis. Ainsi, les peuplements de *Lagarosiphon* sont vus par des pêcheurs tantôt comme un obstacle physique, tantôt comme des abris et des nurseries pour les poissons. Dans ce dernier cas en particulier, ce n'est pas le terme d'« invasives » qui vient le plus facilement aux lèvres des enquêtés, mais celui d'« herbiers », connoté positivement ; l'idée est de mettre en avant un changement dans les relations en direction de nouvelles alliances. « Si je me place

¹¹ Présente aussi dans la littérature scientifique (Dutartre, 1995).

sur le plan du pêcheur, de l'halieutique, ce n'est pas si mauvais que ça ! Les poissons, ils posent leurs œufs sur ces herbiers » (Fédération départementale d'AAPPMA, interview 13).

« La seule plante invasive qu'il y a [dans le lac], c'est le lagarosiphon. Alors, « invasive », j'aime pas trop ce terme parce qu'en fait, elle est invasive pour les propriétaires de bateaux. Alors que pour moi, ce sont des caches à poissons ; (...) au point de vue vie animale et vie végétale même, ça ne gêne pas. (...) Donc je dirais que la seule plante qui gêne les propriétaires et ceux qui veulent pêcher dans le canal, c'est la lagarosiphon. » (2^e AAPPMA, interview 21)

L'autre version de la catégorie relationnelle constituée autour des plantes invasives peut être qualifiée de « critique ». En effet, plusieurs enquêtés, de profils différents, émettent l'hypothèse que si la plante entretient des relations problématiques au sein d'un environnement qui est à la fois social et naturel, c'est plus largement la question des rapports homme-nature qui est posée. Des enquêtés s'interrogent : faut-il et peut-on encore agir sur les problèmes de fond qui pourraient favoriser les plantes, tels que nutriments et sédiments apportés par les pratiques agricoles et industrielles passées et actuelles (Association environnementale locale, interview 9) ? En outre, certains invitent à nuancer l'importance du problème « invasions biologiques », en soulignant qu'il y a peut-être des enjeux plus importants, tel que le recul du trait de côte (Fédération départementale d'AAPPMA, interview 13 ; 2^e Communauté de communes, interview 17).

« Après, la question, sur cet aspect-là, c'est : quel est l'objectif, derrière ? (...) Le caractère naturel d'un plan d'eau, c'est de se refermer ! (...) Si ça se trouve, [demain] ce sera une superbe tourbière ! » (1^{ère} Communauté de communes, interview 3)

Quelques personnes interrogent plus généralement l'action de l'homme dans la gestion des milieux. « Il peut y avoir une question philosophique [liée] à la gestion des espèces invasives : qui est-ce qu'on est pour gérer tout ça, finalement ? Moi j'en reviens toujours à ces questions. » (1^{ère} Communauté de communes, interview 3)

« On ne se rend jamais compte de ce tout ce qui est infinitésimal, que l'on détruit dans les actions que l'on mène, ne serait-ce que pour lutter contre des plantes invasives. On détruit tout un biotope ou des micro-organismes qui sont présents. » (Association environnementale locale, interview 9)

La catégorisation relationnelle des plantes « invasives » va de pair avec un haut degré de réflexivité (Head, 2017). Elle s'accompagne de doutes, notamment quant aux effets des pratiques d'intervention humaines sur le milieu. La complexité des relations plantes-milieu-hommes serait exacerbée du fait des « logiques » propres aux processus bio-physiques, générateurs d'indétermination.

2.4.2. Une catégorie marquée par l'idée d'indétermination

L'analyse de notre matériau d'enquête montre en effet que l'idée d'indétermination fait partie intégrante de la catégorie relationnelle « plantes invasives ». Cette idée est directement associée à une certaine « capacité d'action » des plantes et est déclinée dans les témoignages à propos des proliférations comme des disparitions spontanées (mobilité temporelle), de la mobilité spatiale des plantes ainsi que de leur aptitude à changer de comportement en fonction de l'environnement.

Nous avons vu que les enquêtés peinent à identifier ce qui, dans les faisceaux de relations entre les plantes aquatiques et d'autres composantes du milieu, joue un rôle actif dans le développement brutal et massif des premières. Un autre aspect des phénomènes liés à ces plantes est très présent dans les entretiens : les cas de disparitions spontanées, brutales et massives. Paradoxalement, les seules véritables disparitions décrites seraient pour l'essentiel spontanées plus qu'imputables à des actions de contrôle ciblées. Or, les enquêtés se disent

encore plus démunis pour comprendre ces phénomènes que pour comprendre les propagations. « On a des épisodes avec *Egeria*. Des fois elle disparaît, elle revient pas. (...) C'est des épisodes, on n'arrive pas à comprendre pourquoi » (3^e Syndicat mixte, interview 26). Des observations similaires sont relatées pour *Lagarosiphon*, par exemple dans un canal : « En l'espace d'un mois, mais c'était impressionnant, on ne sait pas du tout ce qui s'est passé : il n'y a plus eu du tout de *Lagarosiphon* ! » (1^{er} Technicien rivière, interview 2)

Les témoignages insistent aussi sur la mobilité des plantes aquatiques. Celles-ci « bougent », « courent », « s'échappent »... Head et al. (2014) ont montré l'importance de cette qualité des plantes invasives pour les gestionnaires intervenant sur une espèce terrestre en Australie ; nous observons que c'est particulièrement vrai des plantes aquatiques, qui sont par définition dans un fluide plus ou moins en circulation. Nos enquêtés parlent des plantes qui se déplacent avec les hommes, surtout dans les hélices des bateaux à moteurs et, plus largement, sur toute embarcation. « Avec le SUP¹², on a le leash qui traîne dans l'eau derrière et qui a tendance à s'accrocher à la végétation. (...) C'est régulièrement qu'on se retourne et qu'on est en train de traîner une feuille de... » (Locations nautiques, interview 28). Les plantes se déplacent aussi du fait de leur capacité à bouturer voire à se « déraciner » spontanément. Ainsi, avec *Myriophyllum*, il peut y avoir des « soucis de prolifération (...) si un morceau de la plante s'échappe » (2nd Service municipal de l'environnement, interview 15).

« On a deux autres exemples de contamination d'un plan d'eau par une espèce invasive de par le réseau hydraulique. C'est le myriophylle du Brésil, qui est arrivé sur l'étang d'Aureilhan en provenance de l'étang de Parentis et Biscarosse. (...) Et la jussie, qui est arrivé dans l'étang de Moisan depuis l'étang de Laprade qui est situé en amont. » (2^e Syndicat mixte, interview 23)

Les plantes sont finalement considérées comme allant et venant au gré des activités et des déplacements humains, ainsi que de leur propre gré. Au point qu'il semble couramment admis qu'elles sont chez elles dans l'écosystème hydraulique des lacs aquitains, se remplaçant les unes les autres dans l'espace-temps. « Au départ, on avait *Lagarosiphon*, il y a quelques années. Et elle a été un peu remplacée par sa cousine : c'est *Egeria*, aujourd'hui » (3^e AAPPMA, interview 22).

« Alors les noms scientifiques je sais pas. (...) Il y a des petits herbiers de fond en couche rase : il y a deux variétés. Et après il y a trois variétés de grands herbiers. (...) Ça a tout le temps bougé ici en fait, les variétés. Une prend la place de l'autre, et ça se déplace. » (2^e AAPPMA, interview 21)

Pour plusieurs personnes, la mobilité des plantes aquatiques s'exprime aussi par l'ondulation des tiges autour du point d'enracinement. Ce faisant, elles s'emmêleraient entre elles et feraient ainsi peur aux baigneurs. Nous retrouvons l'idée développée par Head et al. (2004), à propos de *Cryptostegia grandiflora* : les pieds entremêlés se transforment en pièges pour les humains, en l'occurrence des cavaliers susceptibles d'être littéralement jetés à terre par les plantes.

« Il y a des gens qui ont eu des gros stress en tombant de planche à voile (...) ! Parce que on se retrouve dans les algues et pour certains c'est la panique quoi, parce qu'on n'arrive pas à nager, on est complètement emmêlé ... Il y a quelques années, il y a eu une noyade à Carreyre, dans les algues. » (Habitant riverain, interview 18)

Enfin est mentionnée la capacité des plantes aquatiques à changer de comportement en fonction de conditions particulières au milieu. Elles déploieraient des interactions spécifiques avec d'autres composantes de l'environnement, qui auraient des effets en retour sur leurs aptitudes ou qualités propres. Plusieurs personnes nous rapportent, par exemple, le cas de la Jussie, qui pourrait désormais devenir plutôt terrestre.

¹² SUP : Stand Up Paddle.

« Ce qu'on ne pensait pas qui était possible, c'est que maintenant, elle court sur la prairie, la Jussie. La Jussie vient courir sur la prairie ! Alors qu'avant, ça le faisait jamais ! On pensait toujours qu'il fallait de l'eau ! (...) si jamais elle commence à sortir, ben, ça y est, elle court ! Ça rampe et ça... » (2^e Association locale de chasseurs, interview 14)

Les plantes explosent démographiquement, sont mobiles, disparaissent parfois comme elles sont venues... mais demeurent toujours en embuscade. « La Lagaro, bon, elle est encore... je dirais, prête à bondir. Il y a des petits recoins par endroits où on la voit par transparence : on sent qu'elle ne demande qu'à ressurgir » (Club nautique, interview 11). Nous allons voir que cette conception des plantes aquatiques va de pair avec une conception de l'action souple et diversifiée, qui répond non pas au leitmotiv de l'éradication mais à celui de « vivre avec ».

« On ne verra jamais la fin, de toute façon. Il faut... faut s'y habituer, faut vivre avec. (...) On a vu que c'était beaucoup plus solide que nous, quoi. Dans le temps, on voit bien que la plante, elle va gagner. » (3^e Association locale de chasseurs, interview 25)

2.5. « Vivre avec » les plantes : dépasser l'éradication

Quand ils parlent de « vivre avec » les plantes, nos enquêtés ne sont pas dans une attitude fataliste qui serait synonyme d'inaction : il s'agit d'un mot d'ordre recouvrant une diversité d'objectifs et de modes d'intervention, susceptibles de se combiner dans le temps et dans l'espace, basés sur des visions situées des relations hommes-plantes-environnement.

2.5.1. Redéfinir l'éradication

« Eradiquer », cet objectif a priori évident et universel qu'appelle une catégorie « espèces invasives » conçue comme fixiste et normative, ne trouve pas vraiment grâce aux yeux de nos enquêtés. Certes, les rares acteurs porteurs d'une définition experte normative de la catégorie « invasives » évoquent l'éradication ainsi conçue. « Les espèces invasives, nous, on n'a pas ces débats assez philosophiques. (...) Dans les Réserves nationales, on a choisi d'essayer d'éradiquer » (3^e Réserve écologique nationale, interview 24). Quelques personnes, issues de collectivités locales ou d'administrations, défendent à l'occasion l'idée d'interventions primaires lourdes dans des sites très envahis, suivies de surveillance et d'actions plus légères dans la durée. Par exemple, concernant la Jussie dans les canaux d'un marais, dont l'arrivée serait due à des travaux d'aménagement d'après ce même enquêté, « il y a eu une opération radicale, d'enlèvement radical, suivi d'un entretien annuel, manuel » (Service décentralisé de l'environnement, interview 1). Mais nos enquêtés sont formels, y compris les quelques personnes porteuses de la définition experte normative : « éradication » au sens plein est un vain mot. Les plantes aquatiques, « c'est le tonneau des Danaïdes » (2^e Technicien rivière, interview 8). « A une époque, on s'inscrivait dans une logique de lutte, dans le sens d'une éradication. Alors que maintenant, on a pris la mesure des choses, on est beaucoup plus modeste, plus humble... » (Service décentralisé de l'environnement, interview 1).

Cependant, le terme 'éradiquer' est toujours mobilisé dans les témoignages, mais avec une importance et un sens redéfinis : il a des dimensions technique, spatiale et temporelle bien circonscrites. Il renvoie à des ambitions limitées, que ce soit en termes de biomasse extraite, de surface traitée ou de temporalité. Il est défini pour « des tout petits spots » (Conseil départemental, interview 7). On « éradique sur quelques dizaines de mètres carrés, d'accord ? Faut revoir l'échelle ! » (1^{er} Association locale de chasseurs, interview 4). « Eradiquer » est indissociable d'un autre objectif qui est de surveiller : le « vivre avec » comporte indéniablement une dimension de quotidienneté et de long terme. « Les plantes invasives, en général, le premier travail c'est surveiller, surveiller, surveiller. C'est du travail vraiment de longue haleine, de longue haleine » (1^{er} Technicien rivière, interview 2). Si, spatialement et quantitativement, les actions ne sont pas d'envergure, en revanche elles sont extrêmement

consommatrices en temps et requièrent des compétences acquises par l'expérience. Nombre d'acteurs sont ainsi dans de la « micro-gestion » (3^e Réserve naturelle nationale, interview 24), des opérations quasi-chirurgicales.

« C'est des petits endroits, hein, c'est pas des kilomètres carrés ! Ces petits endroits, on les maîtrise, on arrive à arracher en voyant ce qu'il faut pas arracher. C'est l'avantage au bout de quelques années. » (1^{ère} Association locale de chasseurs, interview 4)

Ainsi redéfini, l'objectif d'éradication n'a plus pour cible une masse de plantes appartenant à la catégorie générique « invasives » : il vise des individus, des plantes distinctes les unes des autres, qui appartiennent à une espèce ayant des caractéristiques bio-morphologiques précises et qui sont implantées dans un milieu précis. Il requiert de fait des savoir-faire spécifiques.

« Des fois, on a l'impression qu'on perd du temps... Quand on voit des grosses masses, on veut trop y rentrer tête dedans, alors qu'au contraire il faut vraiment être très minutieux et prendre le temps de faire les choses. (...) [pour] l'exemple particulier de la Myriophylle, (...) la personne qui nous a apporté le plus, en termes de savoirs pour l'arrachage, que ce soit mécanique ou manuel, c'est celle de la réserve de l'Étang Noir. » (3^e Service municipal d'environnement, interview 20)

2.5.2. « Moins », c'est mieux

Si les enquêtés jugent que tout objectif d'élimination définitive est à oublier, et bien que quelques-uns envisagent la possibilité d'interventions ponctuelles lourdes, la tendance générale est à considérer qu'en matière d'actions contre les plantes invasives, le moins est le mieux. Les raisons invoquées sont nombreuses et souvent cumulatives. Financièrement, il ne sert à rien de dépenser de l'argent dans des travaux jugés inutiles, voire contreproductifs : le résultat est parfois inverse à celui escompté, le milieu continuant à se dégrader et les activités humaines demeurant impactées. La question des dégâts collatéraux est à prendre en compte : il y a le risque d'arracher des plantes « utiles » et/ou « patrimoniales », ou de favoriser la dispersion de boutures. Intervenir le moins possible signifie en particulier bien hiérarchiser les problèmes et les enjeux afin de restreindre les zones à traiter. « On se concentre où il y a des plantes patrimoniales à sauvegarder. Faut faire des choix » (1^{ère} Association locale de chasseurs, interview 4).

« C'est une espèce [Lagarosiphon] qui est déjà globalement répandue sur le secteur. A priori, plus on intervient dessus... ça ne change pas grand-chose et au pire on peut peut-être même (...) la diffuser encore plus par les fragments qu'on réalise en faisant les travaux. (...) Il y avait un argument financier qui était important, aussi (...). Donc on n'a pas un objectif d'éradication de l'espèce : on a juste un objectif d'intervenir là où l'usage est très fortement impacté. » (1^{er} Syndicat mixte, interview 10)

Cette tendance à une action « moindre » concerne aussi les techniques mises en œuvre. L'essentiel des enquêtés juge optimale la technique de l'arrachage manuel. Correctement mise en œuvre, elle permet d'enlever la plante entière, système racinaire compris ; elle minimise les risques de relargage de fragments végétaux dans le milieu. Les interventions mécaniques, bien qu'encore pratiquées dans les sites très fréquentés qui sont envahis (ports notamment), ne laissent plus beaucoup d'illusions quant à leur efficacité.

« On est tous conscients que l'engin, le faucardeur-moissonneur, c'est basiquement, vulgairement une tondeuse à gazon. Plus tu passes la tondeuse dans ton jardin et plus l'herbe, elle pousse verte. C'est aussi basique que ça. » (2^e Technicien rivière, interview 8)

Plusieurs enquêtés envisagent même l'arrêt de toute action. « Avec les années qui passent, j'aurais tendance à penser qu'il vaut mieux ne rien faire que faire quelque chose » (2^e Technicien rivière, interview 8). L'indétermination qui caractérise les « plantes invasives » est un argument qui pèse dans cette tendance : « finalement, l'espèce invasive, là, elle nous impacte à ce temps *t*, mais qui dit que demain elle ne va pas se réguler toute seule ? » (1^{ère}

Communauté de communes, interview 3). « Faut laisser faire la nature. En général, la nature n'aime pas le vide ; elle sait très bien le combler d'elle-même et retrouver son équilibre. Les plantes invasives, c'est bien particulier mais c'est ce cas-là » (1^{er} Technicien rivière, interview 2). Un gestionnaire d'espace protégé va jusqu'à privilégier l'interdiction des activités humaines impactées (pêche, navigation) plutôt que l'intervention sur les plantes.

« On a l'Egéria, Lagaro, qui sont bien présentes. (...) On n'y fait rien du tout parce que de toute façon, il n'y a pas grand-chose à y faire. (...) C'est sûr que là, par rapport à l'activité pêche... [ça pourrait poser problème], même si maintenant nous, ici, on l'a classé en réserve de pêche (...). Après, on a quelques problèmes par rapport à la navigation. Donc là, on interdit tout ce qui est accostage. (...) Donc, pour l'instant, on n'a jamais travaillé plus que ça dessus [Egéria et Lagarosiphon]. Nous, ça nous pose pas de soucis... » (1^{ère} Réserve naturelle nationale, interview 12)

2.5.3. Objectifs « à la carte »

Au-delà de la « micro-éradication », nos enquêtés ont deux types d'objectifs : empêcher les plantes de gagner de nouveaux espaces et éviter qu'elles ne soient trop abondantes à l'intérieur de certaines zones où elles sont déjà présentes.

« Stopper » les plantes est un mot d'ordre qui revêt une importance particulière, en réponse à leur qualité de mobilité. Il se décline en deux objectifs plus précis. Le premier consiste à créer des frontières que les plantes ne puissent pas franchir, même sous la forme de petits fragments végétaux. Cela implique un objectif corrélé, qui est de surveiller : la création d'un système de contrôle est indispensable au processus d'établissement de frontières (Newman, 2006). Matériellement, il s'agit de grilles posées entre des plans d'eau d'agrément et un lac, entre une réserve naturelle et un canal... Ce sont aussi des barrières souples et temporaires, tels que les « filets anti-dérivants » (2^e Technicien rivière, interview 8) autour des chantiers d'arrachage, « pour récupérer, pour pas que ça s'en aille » (Fédération départementale d'AAPPMA, interview 13).

« Ça nous oblige à faire un dégrillage manuel, en période de prise d'eau, quasiment tous les jours (...). Comme ça se colmatait très vite, on a inventé un deuxième système, avec des piquets [devant la grille]. Pour que les gros morceaux s'arrêtent (...). Ça nous a évité de faire rentrer du lagarosiphon et de la jussie. » (2^e Réserve naturelle nationale, interview 16)

La seconde déclinaison de l'objectif consistant à limiter la circulation des plantes concerne les mobilités humaines. Outre l'interdiction d'accostage et la mise en réserve de pêche mentionnées par un enquêté cité précédemment, il a ainsi été pris temporairement la décision de fermer un canal reliant deux lacs à la navigation : « on ne voulait pas faire venir Egeria via les bateaux vers [le lac de] Carcans-Hourtin (...). On a dit (...), « on ferme ». » (1^{er} Syndicat mixte, interview 10)

Un deuxième type d'objectifs tourne autour de l'idée de maintenir les plantes à un niveau « acceptable » à l'intérieur de certaines frontières : une réserve naturelle, voire la parcelle où est installé un loueur d'embarcations... Ce niveau est négocié selon les relations que les groupes sociaux entretiennent aux espaces en question, mais il est clair que les plantes, par leurs capacités, comptent dans ces négociations. Ainsi, les gestionnaires d'espaces protégés n'affichent pas systématiquement une tolérance zéro (voire n'interviennent plus, comme nous l'avons déjà mentionné), ne serait-ce que parce que les plantes ne le « permettent » pas ; mais ils maintiennent la pression sur ces dernières.

« Au niveau de notre mise à l'eau, on fait [de l'arrachage] (...). Si on ne veut pas que les pédalos arrachent tout en partant, on est obligé d'arracher un peu. Et aussi pour dégager notre zone de mise à l'eau parce que si on laisse faire, on ne peut plus accéder. Donc nous, finalement, ça va être juste sur la parcelle que nous louons à la mairie où là on va nettoyer. » (Locations nautiques, interview 28)

« Ici, la jussie ne nous pose pas de gros, gros problèmes. Mais elle est arrivée (...). On a des stations qui commencent à se développer dans le marais et on fait de l'arrachage. (...). Après, s'il y a un pied par-ci, par-là, ce n'est pas grave. » (2^e Réserve naturelle nationale, interview 16)

« Contenir », « gérer », « maîtriser », « contrôler »... de nombreux termes expriment ces efforts de réduire la densité des plantes, de diminuer les surfaces occupées, de retarder leur croissance en saison, etc., et ce à l'intérieur de secteurs bien définis.

« Au début, on n'y faisait pas attention. C'est là-bas dans le côté. On ne s'en inquiétait pas. Là où on a réagi le plus, c'est quand c'est arrivé dans le port. (...) Donc, à notre petite échelle, nous, on essaie de maîtriser et puis voilà. Non, non, éradiquer, de toute façon, à mon avis, pour la Lagarosiphon major, c'est impossible. » (3^e Association locale de chasseurs, maire, interview 25)

Enfin, un troisième type d'objectifs est esquissé : intervenir sur le milieu afin de le rendre moins favorable aux plantes aquatiques. Un acteur prône ainsi le développement de la végétation sur les berges des cours d'eau afin de limiter l'exposition lumineuse qu'apprécie la jussie. « Si on lui coupe de la lumière, on limite son développement, voire on peut l'éradiquer » (1^{er} Technicien rivière, interview 2). Agir en intervenant sur les niveaux d'eau des lacs est également une possibilité avancée par certains acteurs. « Si seulement on avait 1,5 m partout dans tous les plans d'eau, au moins on serait un peu plus tranquilles » (2^e Syndicat mixte, interview 23). Ce Syndicat mixte engagé de longue date dans la lutte contre le comblement des plans d'eau voit dans une opération de recreusement d'un étang un moyen d'agir sur les deux tableaux à la fois :

« C'était la porte d'entrée, cette opération de recreusement. La demande émanait à l'origine de la fédération de pêche et de l'association de pêche locale. (...) C'est un secteur qui a été envahi préalablement par des invasives. On leur a fait un arrachage préalable aux travaux de recreusement. » (2^e Syndicat mixte, interview 23)

L'expression « vivre avec », récurrente, exprime la façon dont nos enquêtés ont ainsi appris à répondre à l'indétermination et à la mobilité des plantes aquatiques : par des objectifs d'action relativement modestes et diversifiés, qui ne cherchent pas à être définitifs mais à s'inscrire dans une attention durable. Cette expression signifie également que les relations sans cesse renégociées avec les plantes changent finalement aussi les humains et pas seulement les plantes. « Faut vivre avec. (...) On s'y accomode ! On s'y adapte et puis après on essaie de maîtriser la situation. » (3^e Association locale de chasseurs, interview 25)

« Le seul endroit où on peut pêcher d'ici, (...) c'est un ponton qui fait une dizaine de mètres. (...) Et là, c'est envahi [d'herbiers]. (...) Si, les pêcheurs arrivent à pêcher. Tout s'adapte de toute façon. Mais avec plus de difficultés parce que bon, dès qu'ils lancent, ils sont pris un peu dans les herbes. Mais maintenant vous avez des leurres flottants. Le pêcheur s'est adapté et puis le poisson s'est adapté aussi à ces herbes-là pour sa vie ! » (3^e Association locale de chasseurs, interview 22)

2.6. Conclusions : travailler avec l'indétermination, une voie vers le succès

Lorsqu'on s'intéresse à la façon dont des acteurs intervenant sur des lacs et milieux humides font l'expérience de plantes aquatiques référencées comme « invasives » par les experts écologues, ce qui frappe en premier lieu est combien ils sont éloignés de l'idée que ces plantes puissent entrer dans une catégorie « pure » (Robbins, 2001b) construite sur les oppositions classiques nature / société, exogène / indigène, à sa place / pas à sa place... Plus que tel ou tel critère défini a priori, et notamment celui de l'origine, ce qui compte sont les relations qui se nouent entre les humains, les plantes, l'eau, les composantes minérales... Or, les plantes aussi,

de par leurs capacités propres, sont susceptibles d'infléchir ces relations. Elles se multiplient, se déplacent, consomment des éléments du milieu, occupent un espace, disparaissent, résistent à des actes hostiles... Les acteurs témoignent d'un mode de catégorisation relationnel qui fait d'une plante invasive un processus spatio-temporel, sans cesse renouvelé et empreint d'indétermination. S'ils sont peu ou prou gênés par les plantes aquatiques, à certains endroits et relativement à certaines préoccupations (écologiques, récréatives...), « tout n'est jamais tout blanc ou tout noir dans ces problématiques-là ! » (2^e Syndicat mixte, interview 23)

Nous pourrions appliquer aux plantes aquatiques la formule de Doody et al. (2014) relative aux mauvaises herbes des jardins : « whether a plant is interpreted and practiced as a weed or otherwise will always be fleeting, volatile, improvisatory and contextually contingent ». Pourtant, ce n'est pas parce que la catégorie est « souple » qu'elle n'est pas utile (Head, 2017). Relativement ouverte, intégrant les idées de la complexité des phénomènes, de l'incertitude voire de la surprise (Waterton, 2003), elle est une catégorie pratique utile. Nous avons montré qu'elle conduit les acteurs à évincer toute action d'envergure mue par un objectif radical (« éradiquer ») au profit d'interventions ciblées répondant à des objectifs variés et contextualisés : éviter la propagation d'une espèce au-delà des limites d'un lac, contenir la densité d'un herbier à proximité d'une zone nautique, éradiquer un départ dans un marais abritant des espèces patrimoniales... Cela se fait par un long apprentissage, dans lequel les échanges avec d'autres acteurs locaux sont au moins aussi importants qu'avec les instances officiellement en charge de la thématique à des échelles plus englobantes. Ainsi voit-on se dessiner des positionnements d'acteurs a priori surprenants, tels par exemple ces gestionnaires d'espaces protégés qui ne se montrent pas si arc-boutés que cela sur la question des « invasives »...

Ce que nous disent les acteurs de territoires où se produisent des phénomènes d'« invasions » montre qu'il vaut mieux travailler avec la réalité telle qu'elle est, c'est-à-dire complexe et indéterminée, plutôt que d'essayer de s'en débarrasser au moyen de catégories étroites (« working with this messy reality rather than trying to strip it away in tighter definitions »). « Messy complexity is not something that can be ignored, but part of the world we are trying to understand and live in » (Head, 2017). Catégoriser de manière relationnelle les « invasives » permet une plus grande créativité dans l'adaptation à nos environnements changeants (Doody et al., 2014) et fait ainsi que nos actions ne sont pas irrémédiablement vouées à l'échec (Barker, 2008). Les objectifs modestes et variés déclinés sous la bannière du « vivre avec » aboutissent sur le terrain à des compromis nombreux et variés, c'est-à-dire à des situations où les relations renégociées entre les plantes, le milieu et les humains sont jugées satisfaisantes. Si la guerre contre les « invasives » (au sens normatif) ne peut être gagnée, les batailles contre les invasives (au sens relationnel) conduisent souvent, à force d'implications de longue haleine, à de petites victoires, même si elles sont rarement définitives. Ainsi, concernant une espèce, la Jussie, et quelques zones lacustres précises, « on peut dire qu'on dépasse les objectifs initiaux qui étaient de maîtriser le végétal, puisque là, il y a des secteurs où elle a été éradiquée et il y a des secteurs (...) où elle est en voie d'éradication quasiment totale » (1^{er} Technicien rivière, interview 2).

3. Quelle contribution des usagers « ordinaires » de la nature ?

3.1. Introduction

Faisant écho à l'idée de développer des modes de gouvernance autour des problématiques environnementales, à caractère plus inclusif et participatif (Ostrom 2009), le principe d'une ouverture de la gestion des phénomènes invasifs à un large public, pas uniquement composé de spécialistes et d'experts, fait progressivement son chemin (McNeely 2001, CBD 2014) (Shackleton, Larson *et al.* 2019). La palette d'acteurs potentiellement concernés est vaste. Ce sont aussi bien des associatifs, des pratiquants d'activités de loisirs, des touristes de passage, que des résidents permanents (riverains, ou non, des lacs). Les raisons évoquées sont, elles aussi, multiples : améliorer le socle de connaissance commune, favoriser les consensus et limiter les conflits mais aussi, reconnaissons-le, essayer de capter de nouvelles ressources (humaines, sociales, matérielles...) dans un contexte économique et financier de plus en plus contraint (Simberloff, Parker *et al.* 2005, Shackleton, Adriaens *et al.* 2019). Ce dernier sujet a d'ailleurs suscité l'intérêt des économistes, qui ont, récemment, commencé à étudier les déterminants de cette offre potentielle. (Garcia-Llorente, Martin-Lopez *et al.* 2008, Epanchin-Niell 2017, Bravo-Vargas, García *et al.* 2019, Mameno, Kubo *et al.* 2020).

Une meilleure connaissance de ces nouveaux acteurs, de leurs attentes, leurs perceptions, leurs attitudes et leurs comportements vis-à-vis des invasives, est souvent présentée comme une étape incontournable en vue de leur intégration (Garcia-Llorente, Martin-Lopez *et al.* 2008, Cole, Keller *et al.* 2016, Pagès, Fischer *et al.* 2019, Shackleton, Adriaens *et al.* 2019, Shackleton, Larson *et al.* 2019). Dans le projet AquaVIT, nous avons donc réalisé une enquête auprès d'un échantillon représentatif d'usagers (résidents et touristes) du lac d'Aureilhan, durant l'été 2019. A notre connaissance, c'est la première fois qu'une étude de ce type est réalisée sur un lac de Nouvelle Aquitaine. Certains résultats affichent une vocation générale, tandis que d'autres sont plus spécifiques au contexte où ils ont été obtenus. A l'avenir, on ne peut donc que souhaiter la reproduction de la démarche sur d'autres sites, afin de mieux cerner l'effet des contingences locales sur la formation des comportements individuels et sociaux.

Après une description du site et de la méthode, nous fournissons une sélection de résultats. Dans ce document, nous nous focalisons sur deux aspects en particulier¹³ : l'analyse des perceptions et des savoirs individuels, d'une part, et la propension des usagers à s'impliquer dans la gestion, d'autre part. Nous montrons comment les représentations et les connaissances des usagers vis-à-vis des plantes ont un caractère localisé et qu'elles sont étroitement liées aux pratiques et à l'expérience des lieux. La diversité des usages explique, en partie, l'ambivalence des regards. La proximité (géographique) au site, dont bénéficient les habitants, ne joue pas que sur la fréquentation et semble également favoriser l'accès à certaines sources d'informations. La dimension territoriale se manifeste ensuite sur les comportements et attitudes en matière d'engagement. Cinq formes d'engagements ont été testées, qui présentent chacune des spécificités. Trop souvent négligées, au profit d'une approche générale en terme de « comportement pro-environnemental » (Ramkissoon, Weiler *et al.* 2012), nous pensons que ces spécificités appellent des dispositifs d'incitation adaptés. Enfin, la spatialisation des processus s'exprime également dans l'hétérogénéité des lieux de pratiques sur un espace qui, avec ses 340 hectares, est pourtant loin d'atteindre la superficie des plus grands lacs du littoral Aquitain.

¹³ Pour plus de détails, nous revoyons notamment à Dehez (2020).

3.1.1. Présentation de la zone d'étude

Le lac d'Aureilhan est localisé dans le département des Landes, à cheval sur quatre communes : Mimizan, Aureilhan, Saint-Paul-en-Born et Sainte-Eulalie-en-Born. S'étendant sur 340 hectares, il est d'une taille qu'on pourrait qualifier « d'intermédiaire », eu égard aux autres lacs de notre zone d'étude, dont la surface varie de 6 Ha (Moisan), pour le plus petit, à 5.600 Ha, pour le plus grand (Carcans-Hourtin). En presque 200 ans, ce lac aurait perdu plus de 500 Ha, jusqu'à ce que d'importants travaux aient permis de le maintenir à sa taille actuelle.

Aujourd'hui, le lac d'Aureilhan est un espace aménagé et utilisé pour de nombreux usages de loisirs avec, notamment, deux plages (accueillant chacune près de 6.000 personnes sur la saison estivale), des parcours de pêche, des tonnes de chasses, des cales de mise à l'eau et des anneaux pour les bateaux, un club de voile et une halte nautique. L'offre est complétée par des services d'hébergements, de restauration, de location de matériel (stand up paddle, canoë), ainsi que des visites guidées. Une partie des rives du lac est aménagée pour la promenade et la randonnée. Un projet de boucle permettant de faire le tour complet du lac (13,5 km) est en voie de finalisation.

Le lac d'Aureilhan fait également l'objet d'une gestion du point de vue des plantes aquatiques invasives. Les quatre plantes (Jussie, Lagarosiphon, Egeria et Myriophylle du Brésil) y ont été recensées. Trois chantiers d'arrachage (principalement manuel) sont réalisés : de la promenade fleurie au château de Woolsack, à l'Anse Saint Paul et, de façon plus ponctuelle, au Club de Voile (voir carte suivante). La halte nautique d'Aureilhan fait parfois l'objet d'un faucardage.

L'étude de fréquentation est le résultat d'un effort conjoint entre l'INRAe de Bordeaux (unité ETBX) et la communauté de communes de Mimizan, qui souhaitait mieux connaître les pratiques et les attentes sur le lac d'Aureilhan, en vue de sa future mise en tourisme. Au-delà des questions sur les plantes aquatiques invasives strictes, les porteurs du projet AquaVIT ont donc intégré un volet supplémentaire rassemblant des informations utiles pour la communauté de communes.

3.1.2. Méthodologie de l'enquête

L'enquête est de type quantitative et privilégie des questions de type fermée (« pratiquez-vous cette activité ? », « depuis combien de temps venez-vous au lac », « êtes-vous satisfait de cet aménagement ? », etc)¹⁴. Le questionnaire est fourni en annexe¹⁵. Elle a couplé deux modes de passation : un questionnaire en face à face et une version internet¹⁶. Les enquêtes menées en face à face ont permis de contrôler l'échantillonnage. Les réponses étaient saisies sur des tablettes numériques, équipées du logiciel Sphinx IQ2¹⁷. Les données étaient téléchargées sur un serveur d'où l'on pouvait suivre la progression, de façon, éventuellement, à ajuster les quotas. La version internet avait pour but d'élargir le plus possible la taille de la population.

¹⁴ Pour éviter les biais d'ancrage, la plupart des modalités proposées pour les différentes questions à choix multiple étaient programmées en rotation aléatoire (la liste reste la même, mais l'ordre des propositions changent entre les individus)

¹⁵ Remis en forme pour les besoins de la présentation.

¹⁶ Nous remercions les deux enquêtrices, Emmy Larrere et Camille Losguardi, pour l'excellente qualité du travail qu'elles ont fourni.

¹⁷ <https://www.lesphinx-developpement.fr/logiciels/enquete-analyse-sphinx-iq/>

Au final, et malgré l'effort de communication, la diffusion sur internet a apporté un nombre relativement limité de questionnaires (49).

L'enquête s'est déroulée du 1^{er} Août au 31 octobre 2019. Afin de viser la meilleure représentativité¹⁸, trois quotas avaient été définis

- le premier sur la répartition entre les touristes et les résidents,
- le deuxième sur la répartition dans le temps, entre les différents mois,
- le troisième sur la répartition entre les sites.

En moyenne, la passation du questionnaire durait entre une quinzaine et une vingtaine de minutes. Globalement, le questionnaire a été très bien accepté par les enquêtés, sans doute du fait que ceux-ci pouvaient avoir le sentiment d'avoir appris quelque chose après en avoir terminé, et ce, d'autant que les plantes étaient facilement identifiables à proximité.

Le questionnaire comportait plusieurs parties abordant (pas forcément dans cet ordre) :

- les usages (activités, moyens de déplacement, fréquence de visites) et la relation générale des individus au lac, leur ancienneté et leur expérience ;
- les facteurs d'attractivité, leur opinion sur les conditions d'accueil, l'état du milieu, y compris les menaces perçues ;
- des questions sur les trois plantes aquatiques étudiées (connaissance, perceptions des impacts), sans nécessairement les présenter comme des espèces invasives. On demandait aux individus s'ils connaissaient chacune des trois plantes, s'ils pouvaient les nommer, signaler sur une carte l'endroit où ils les avaient éventuellement aperçues, et donner leur avis sur le rôle qu'elles peuvent jouer dans le fonctionnement du lac.
- Des questions sur la problématique des plantes aquatiques invasives, sur le lac et d'un point de vue plus général. Cette partie abordait notamment des propositions sur diverses formes d'engagements par les usagers.
- Enfin, une dernière partie du questionnaire collectait les informations sociodémographiques (âge, situation vis-à-vis de l'emploi, formation, origine géographique ...).

La stratégie de distribution spatiale des questionnaires a été définie, en collaboration avec nos partenaires locaux, après observations de la fréquentation *in situ*. Quatre sites ont été retenus (cf. carte suivante).

¹⁸ Exercice rendu d'autant plus délicat qu'on ne connaît pas, *a priori*, la population mère.



Liste des sites d'enquête : 1.Promenade fleurie, 2.Serbiat, 3.Plage Sud, 4.Anse Saint Paul

Sur la période considérée, 323 personnes ont été enquêtées, dont 274 en face à face. Les quelques tableaux suivants donnent un aperçu de la structure de l'échantillon.

Distribution des questionnaires

Mode de collecte (face à face/internet)	84%/16% (274/49)
Nb questionnaires en août (% de résidents)	87(56%)
Nb questionnaires en septembre	178 (41%)
Nb questionnaires en octobre	58(67%)

	<i>Serbiat</i>	<i>Promenade fleurie</i>	<i>Plage</i>	<i>Ensemble¹⁹</i>
Effectifs	42	188	39	275

Principales caractéristiques sociodémographiques de l'échantillon

Sexe (% femme)	47,51%
Age	54,6 ans
Origine géographique (% résident)	50%
Nombre d'année que l'on habite sur place (pour les résidents)	29,14 ans
Durée du séjour (pour les touristes)	14,59 jours
Temps de trajet moyen pour se rendre au lac	19 mn
Nombre d'années que l'on vient sur le lac	25,34 ans
Primo visiteur	26,93%

¹⁹ Vu la très faible fréquentation constatée à l'Anse Saint Paul, les passages sur ce site ont été arrêtés en cours d'enquête, de sorte à augmenter le nombre d'observations sur les autres. La bonne qualité des tests statistiques obtenue par la suite montre que la stratégie était pertinente.

S'ils affichent des caractéristiques sociodémographiques relativement homogènes (absence de différences significatives²⁰ sur l'âge, la formation, la situation vis-à-vis de l'emploi et le revenu), les touristes et les résidents se distinguent sur d'autres aspects (Dehez 2020) : un peu sur les activités, pas nécessairement parmi les plus répandues (sports, vélo, participation à des événements, « autres activités nautiques »), plus sur le regard vis-à-vis des aménagements, ou l'expérience du lac. Par exemple, les touristes sont plus nombreux à venir pour la première fois et connaissent le lac depuis moins longtemps que les résidents²¹.

« Est-ce la première fois que vous venez ? »

	Résidents	Touristes	Ensemble
<i>C'est la première fois***</i>	1,9%	48,1%	27%

« Depuis combien d'années venez-vous au lac ? »

Touristes	Résidents
14,73***	31,05***

D'autres différences portent plus spécifiquement sur la connaissance des plantes. Nous y reviendrons

3.2. Résultats

3.2.1. Des pratiques emblématiques de la Région

Bien qu'on ne dispose d'aucun élément de comparaison avec d'autres lacs basés en Nouvelle Aquitaine, l'examen des pratiques récréatives déclarées à Aureilhan semble à peu près conforme à ce que l'on peut attendre de la fréquentation d'un tel plan d'eau.

« Quelles activités pratiquez-vous sur le lac ? »

Promenade	91,33%
Pique-nique	33,74%
Peche	24,14%
Velo	23,83%
Baignade	16,09%
Autre activité nautique	15,17%
Sport	10,52%
Participer à des évènements	8,35%
photo	6,19%
Bateau	6,19%
Chasse	2,16%

La promenade est un grand classique (Rulleau, Dehez *et al.* 2011, Dehez J. (coord.) 2012, Dehez 2013) et, à l'instar d'autres activités « terrestres » (pique-nique), arrive largement devant les pratiques nautiques (pêche, baignade, autres activités nautiques, bateau). Citée par un quart des répondants, la pêche reste populaire. Avec les moyens de déplacement, les activités sont un facteur important de différenciation spatiale.

²⁰ Dans tout ce qui suit, la significativité statistique des tests est indiquée de façon classique : *** pour une significativité à 1%, ** pour une significativité à 5%, * pour une signification à 10%, aucune notification en cas d'absence de relation significative.

²¹ D'autres distinctions portent sur les pratiques ou les attentes en matière d'aménagements (Dehez 2020)

« Quelles activités pratiquez-vous sur le lac ? »

	<i>Serbiat</i>	<i>Promenade Fleurie</i>	<i>Plage</i>
Promenade	88,1%	91,5%	94,9%
Pique Nique***	50%	26,6%	41%
Pêche***	61,9%	22,9%	5,1%
Faire du vélo	19%	21,3%	23,1%
Autres activités nautiques**	4,8%	11,2%	25,6%
Baignade***	24%	8%	38,5%
Faire du sport	2,4%	9%	5,1%
Participer à des évènements	2,4%	4,8%	5,1%
Faire du bateau***	16,7%	3,7%	2,6%
Faire de la photo	0%	4,3%	0%
Chasse	4,8%	1,6%	0%

« Comment y venez-vous ? »

	<i>Serbiat</i>	<i>Promenade Fleurie</i>	<i>Plage</i>	<i>Ensemble</i>
A pied***	0%	8%	26,6%	9,3%
En Vélo	14,6%	16%	25,6%	
En Voiture	92,7%	86,2%	76,9%	85,8%
Autres moyens de déplacement	0%	1,1%	0%	0,7%
Vient seul***	59,5%	24,5%	35,9%	31,6%
Vient avec des amis	33,3%	34%	30,8%	33,5%
Vient en famille**	57,1%	79,3%	76,9%	75,5%
Vient avec des enfants	26,2%	23,9%	30,8%	

A l'exception du pique-nique, ce sont principalement les activités nautiques, ou au contact direct de l'eau qui différencient les sites : la baignade à la « Plage » bien sûr (38,5% de réponse positives), mais aussi les autres activités nautiques (12,3%), la pêche et le bateau au « Serbiat » (respectivement 61,9% et 16,7%). Le faible pourcentage du pique-nique au secteur de la « Promenade Fleurie » (26,6%) illustre, sans doute, le fait que, comme son nom l'indique, l'endroit n'est pas destiné à ce que l'on s'y arrête...

« Qu'est-ce qui vous plaît le plus sur le lac d'Aureilhan ? »

Profiter du calme	89,44%
Profiter d'un espace de nature	87,27%
Etre près de l'eau	72,67%
Voir des arbres	51,24%
Voir des animaux	50,93%
Pratiquer des activités sportives et de loisirs	39,13%
Passer du temps en famille	31,05%
Retrouver des connaissances	5,59%
Autres	1,8%

Parmi les facteurs d'attractivité, on retrouve le triptyque, assez classique, constitué du « calme », de la « nature », et de la « présence de l'eau ». Les dimensions sociales (« passer du temps en famille », « retrouver des connaissances ») apparaissent minoritaires²², à tout le moins réduites à l'entretien d'un entre soi familial, comme en témoigne les 75,54% de déplacement en famille, ci-après. Ces résultats annoncent une forme de rapport individuel à l'espace, plus qu'à travers l'appartenance à un groupe social donné, tendance que l'on retrouvera à plusieurs moments, par la suite.

3.2.2. Un savoir localisé, bâti sur l'expérience des lieux

Rappelons que la thématique des plantes aquatiques invasives n'était pas abordée d'emblée de façon à ne pas orienter les réponses. Malgré cela, avec un taux de 66,67%, « l'invasion par les plantes aquatiques » est la première menace citée par les individus.

« Selon vous, quelles sont les grandes menaces qui pèsent sur le lac d'Aureilhan aujourd'hui ? »

L'invasion par les plantes aquatiques	66,67%
La prolifération des déchets	36,14%
Le développement touristique	35,83%
La multiplication des activités de loisirs (pêche, nautisme)	21,81%
Le manque d'entretien des berges	20,87%
Le manque d'entretien des ports	12,77%
Le comblement	17,13%
L'eutrophisation de l'eau	14,95%
Autres	9,03%

Pour chacune des trois plantes considérée, deux photos étaient présentées : une première centrée au maximum sur la plante (offrant un maximum de détails), et une seconde replaçant la plante dans le paysage. L'objectif était de proposer plusieurs points de vue, avec lesquels l'interviewé pouvait être, plus ou moins, familier.

Parmi les trois plantes, la Jussie est celle qui semble la mieux identifiée.

« Avez-vous déjà vu ces plantes ? » (Pourcentages et effectifs)

	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Peut-être</i>	<i>Total</i>
Jussie	82,35%(266)	9,29%(30)	8,36%(27)	100%(323)
Lagarosiphon	51,87%(166)	40,31%(129)	7,81%(25)	100%(320)
Myriophylle	46,59%(150)	38,20%(123)	15,21%(49)	100%(322)

²² De même « participer à des événements » n'est cité que par 8,35% des interviewés.

« Pouvez-vous les nommer ? » (Effectifs)

	<i>Oui</i>	<i>non</i>
Jussie	78	245
Lagarosiphon	27	296
Myriophylle	23	300

Si l'on examine plus en détails les noms donnés

- Pour la Jussie : 67 réponses sont correctes. Parmi les mauvaises réponses, on trouve : « ambroisie », « cistus », « jonquille », « coquelicot d'or », « iris d'eau », « Lys d'eau », « Lys Marytime », « Myriophylle »
- Lagarosiphon : 14 bonnes réponses. Parmi les mauvaises, on trouve : « Egeria », « Jussie », « Grande Renouée », « Nénuphar »
- Myriophylle : 11 bonnes réponses. Parmi les mauvaises : « Egeria », « Feuille de Pin », « Lagaro »

Les réponses quant aux rôles positifs ou négatifs des plantes sont assez équilibrées. Ici aussi, nous proposons autant de rôle positifs que négatifs afin de ne pas influencer les interviewés.

« D'après vous, quel(s) rôle(s) jouent les trois plantes précédentes sur le lac ? »

	<i>Effectifs</i>	<i>Pourcentage par rapport au total de cellules non vides</i>
Elles envahissent le lac	185	57,45%
Elles offrent un abri pour les poissons	161	50,00%
Elles menacent les autres plantes	140	43,48%
Elles gênent les activités (navigation, pêche, chasse...)	122	37,89%
Elles filtrent l'eau du lac	103	31,99%
Elles embellissent le paysage	97	30,12%
Elles améliorent la biodiversité	85	26,40%
Elles sont intéressantes pour les oiseaux	57	17,70%
Elles salissent l'eau et les berges	37	11,49%
Elles sont dangereuses pour les baigneurs	17	5,28%

Assez rapidement, on constate que les perceptions sont liées aux activités déclarées, confirmant l'hypothèse que les représentations sociales se nourrissent de la pratique et de l'expérience de terrain. La composante utilitariste de la relation aux plantes, au sens où les impacts perçus sont très étroitement liés à au type d'activité affectée (Garcia-Llorente, Martin-Lopez *et al.* 2008, Shackleton, Richardson *et al.* 2018), s'en trouve renforcée. Par exemple, les pêcheurs sont plus nombreux que les autres (62,5%, contre 50% dans l'échantillon total) à penser que les herbiers font de bons abris pour les poissons, et les baigneurs sont plus nombreux à imaginer que les plantes sont un risque pour la baignade (15,7% contre 5,3%). Mais ces mêmes baigneurs confèrent aussi aux plantes un rôle positif en termes de biodiversité (37,3% contre 26,4%).

Croisements entre les perceptions des impacts des 3 AIS, et les activités pratiquées

	Promenade	Chasse	Sport	Vélo	Pique-nique	Baignade	Bateau	Pêche	Participer événement	Autres activités nautiques	Faire de la photo	Ensemble
Effectif	294	7	34	76	108	51	20	78	27	49	19	322
Elles offrent un abri pour les poissons	50%	57,1%	32,4%*	55,3%	57,4%*	51%	65%	62,5%**	40,7%	38,8%	68,4%	50%
Elles améliorent la biodiversité	26,9%	0%	23,5%	22,4%	31,5%	37,3%*	15%	17,9%*	14,8%	26,5%	21,1%	26,4%
Elles sont dangereuses pour les baigneurs	5,8%	14,3%	14,7%*	3,9%	7,4%	15,7***	0%	3,8%	18,5***	12,2%**	10,5%	5,3%
Elles envahissent le lac	56,1%	71,4%	70,6%	64,5%	56,5%	52,9%	65%	70,5%**	74,1%	67,3%	68,4%	57,5%
Elles filtrent l'eau	33,7%*	14,3%	26,5%	32,9%	38%	43,1%*	20%	23,1%*	18,5%	38,8%	47,4%	32%
Elles gênent les activités	36,1%**	57,1%	44,1%	46,1%	40,7%	29,4%	50%	59%***	44,4%	42,9%	57,9%	37,9%
Elles menacent les autres plantes	43,2%	42,9%	55,9%	50%	35%	35,3%	35%	50%	63%*	49%	52,6%	43,5%
Elles sont intéressantes pour les oiseaux	18%	14,3%	8,8%	19,7%	17,6%	19,6%	0%***	16,7%	11,1%	18,4%	10,5%	17,7%

Elles embellissent le paysage	30,6%	0%	26,5%	26,3%	32,4%	39,2%	20%	19,2%**	18,5%	36,7%	10,5%*	30,1%
Elles salissent l'eau et les berges	11,2%	14,3%	11,8%	13,2%	11,1%	11,8%	0,5%	20,5%**	11,1%	16,3%	5,3%	11,5%

- *Lecture : 62,5% des individus qui déclarent pêcher, déclarent que les plantes offrent un abri pour les poissons (contre 50% dans l'échantillon global)*
- *Certains effectifs ont une taille inférieure au seuil requis. Nous avons choisi de les laisser pour information*

Lorsqu'on aborde plus directement le sujet, une majorité d'individus (78,02%) déclare avoir entendu parler des plantes aquatiques invasives²³.

« Avez-vous déjà entendu parler des plantes aquatiques invasives ? »

	<i>Oui</i>	<i>non</i>
%	78,02%	21,98%
Eff	252	71

Malgré la place incontournable du numérique dans nos sociétés actuelles, le poids des médias traditionnels et des relations personnelles est tout à fait notable : la télévision (46,03% de réponses) reste la première source d'information, juste devant « l'entourage » (23,02%) et la presse régionale (15,48%).

« Comment en avez-vous entendu parler ? »

A la télévision	46,03%
Par mon entourage	40,84%
Autre	23,02%
Dans la presse régionale	15,48%
Sur internet	13,49%
Dans le cadre de mon travail	11,90%
Par une association environnementale	6,75%
Par la mairie	6,25%
Par une association d'utilisateur	5,15%
Dans le cadre de mes études, de ma formation professionnelle	3,57%

Sur les 58 réponses « autres » : 29 mentionnent qu'ils en ont entendu parler dans le cadre de leur activité de pêche (quelques personnes citent l'AAPPMA), 4 dans le cadre d'autres activités aquatiques (exemple : sorties en pirogue), 9 qu'ils les ont remarquées d'eux même et 12 (plutôt des touristes *a priori*) déclarent y avoir été confrontés dans d'autres régions (avec les mêmes réserves sur le type de plantes auxquels les individus se réfèrent).

La différence entre les touristes et les résidents se fait plus nette à ce niveau. Ainsi, s'ils expriment à peu près le même degré de connaissance sur la thématique des plantes invasives, en général, la situation n'est plus la même quand on rentre dans le détail, comme en témoigne la capacité des résidents permanents à donner le nom des trois plantes présentées dans le questionnaire.

« Avez-vous entendu parler des plantes aquatiques invasives ? »

	<i>Résidents</i>	<i>Touristes</i>	<i>Ensemble</i>
Oui	81,2%	75,3%	78,3%

« Pouvez-vous donner le nom de cette plante ? »

	<i>Résidents</i>	<i>Touristes</i>	<i>Ensemble</i>
Jussie***	34%	15%	24,2%
Lagarosiphon***	14,4%	1,9%	8,1%
Myriophylle***	11,9%	1,9%	6,8%

²³ Face aux interviewés, on s'aperçoit vite que les références des uns et des autres sont variées. Par exemple, le cas des « algues vertes » en Bretagne est parfois mentionné.

Les différences entre touristes et résidents se manifestent également quant à la façon dont chacun a entendu parler des plantes aquatiques invasives. Assez logiquement, les résidents permanents semblent plus que les autres s'appuyer sur des médias de « proximité » : presse régionale (25,4%), mairie (10%) ou association de protection de l'environnement (10%), et surtout leur entourage (49,2%)²⁴. De même, ils semblent plus que les autres (79,9% contre 73,9%) informés de la possibilité d'une intervention locale

« Comment avez-vous entendu parler des plantes aquatiques invasives ? »

	<i>Résidents</i>	<i>Touristes</i>	<i>Ens.</i>
Dans la presse régionale***	25,4%	4,9%	15,5%
Sur internet	13,8%	13,1%	13,5%
Par mon entourage***	49,2%	32%	40,9%
Par une association environnementale**	10,8%	2,5%	6,7%
Par la mairie**	10%	2,5%	6,3%
Par une association d'usagers ou de riverains	6,9%	3,3%	5,2%
Dans le cadre de mes études, de ma formation professionnelle	3,8%	3,3%	3,6%
Dans le cadre de mon travail***	20,8%	2,5%	23%
A la télévision ou la radio	33,8%	59%	46%
Autres	24,6%	21,3%	23%

« Pensez-vous que des personnes ou des institutions interviennent sur ces plantes invasives ? »

	<i>Résidents</i>	<i>Touristes</i>	<i>Ens.</i>
Oui**	79,9%	73,9%	76,4%
Non**	8,2%	4,4%	6,3%
Je ne sais pas**	11,9%	22,6%	17,3%

« Lesquels ? »

	<i>Résidents</i>	<i>Touristes</i>	<i>Ensemble</i>
Agence de l'eau	12,6%	10,1%	11,4%
Des associations de protection de l'environnement	26,8%	33,6%	30,1%
Autre	3,9%	5,9%	4,9%
La mairie	29,9%	23,5%	26,8%
Les chasseurs	15%	9,2%	12,2%
La communauté de communes	50,4%	51,3%	50,8%
Le conseil départemental	25,2%	24,4%	24,8%
Le syndicat mixte Géolandes***	18,9%	6,7%	13%
Le syndicat mixte du Bassin Versan Born et Buch***	14,2%	4,2%	9,3%
Le syndicat de rivière	13,4%	10,9%	12,2%

Un autre résultat important de l'enquête réside, comme au chapitre précédent, dans l'inclinaison vers des objectifs de gestion plus « raisonnables », que l'éradication pure et simple. Ainsi, une majorité des personnes interrogées (62,4%) concède qu'il conviendrait, à

²⁴ Notons le poids élevé des relations professionnelles (20,8%), qui est peut-être dû à un biais d'échantillonnage (Dehez 2020)

tout le moins, de « limiter un minimum leur progression », avant de chercher à « éradiquer » les plantes (28,26%)

« Selon vous, quelle serait la meilleure attitude à adopter face à ces plantes aquatiques invasives ? »

Limiter un minimum leur progression	62,4%
Les éradiquer	28,26%
Curer le lac	10,87%
Je ne sais pas	8,39%
Autres	4,04%
Laisser faire la nature	2,17%
Il n'y a rien à faire, on ne peut pas lutter	2,48%

3.2.3. Un potentiel d'engagement

En dépit de l'intérêt croissant porté à la question de l'implication des usagers dans la lutte contre les invasions biologiques, les recherches sur le sujet demeurent éparses et limitées (Shackleton, Adriaens *et al.* 2019). Le plus souvent, celles-ci se focalisent sur un type d'engagement bien précis tel que la participation à des chantiers volontaires (Bryce, Oliver *et al.* 2011, Pagès, Fischer *et al.* 2019), la contribution financière (Garcia-Llorente, Martin-Lopez *et al.* 2008, Bravo-Vargas, García *et al.* 2019), l'adoption de bonnes pratiques (Cole, Keller *et al.* 2016) ou l'observation scientifique (Hester et Cacho 2017, Marchante, Morais *et al.* 2017). La récente multiplication de ces études (distinctes) conduit à dessiner quelques tendances. Ainsi plusieurs s'accordent à souligner l'effet (positif) de l'information disponible (Bravo-Vargas, García *et al.* 2019, Mameno, Kubo *et al.* 2020), ou des impacts perçus (Garcia-Llorente, Martin-Lopez *et al.* 2008). La formation initiale apparaît également comme un facteur quasi incontournable (Shackleton, Richardson *et al.* 2018), même si nous avons montré précédemment le poids des savoirs locaux et de l'expérience de terrain. Pour autant, la volonté (légitime) de chercher à monter en généralité, en se référant parfois à la catégorie générique des « comportements pro-environnementaux » (Halpenny 2010, Ramkissoon, Weiler *et al.* 2012, Wilkins, Sinclair *et al.* 2019), risque de faire perdre de vue les éventuelles spécificités propres à telle ou telle forme d'implication (Pagès, Fischer *et al.* 2019). Ceci pourrait expliquer, en partie, la désaffectation du public pour nombre des initiatives proposées par les gestionnaires locaux. Un meilleur ciblage permettrait éventuellement d'en accroître l'efficacité.

Dans cette enquête, nous proposons cinq formes d'engagement, impliquant des tâches, des ressources et des compétences dédiées.

« Vous-même, accepteriez-vous de prendre part aux opérations suivantes de lutte contre les plantes »

	<i>Oui</i>	<i>Non</i>	<i>Je le fais déjà</i>
Changer mes habitudes, en évitant de naviguer à certains endroits	79,54%	14,28%	6,17%
Parler des plantes aquatiques invasives autour de moi	53,29%	18,18%	28,52%
Transmettre des informations à un réseau d'observations	38,85%	60,19%	0,96%
Participer à un chantier d'arrachage	33,75%	61,83%	4,42%
Aider au financement des opérations	16,72%	81,02%	2,25%

Le tableau précédent nous donne un premier aperçu de la diversité des comportements puisque les taux d'acceptation varient sensiblement d'une contribution à l'autre. D'aucun pourrait déjà y voir l'effet du poids de la contrainte associée : changer ses habitudes (79,54%) apparaît plus supportable qu'aider financièrement (16,72%). Assez classiquement, la contribution en nature (33,75%) est plus élevée que la contribution financière (Vesley 2007, Lankia, Neuvonnen *et al.* 2014). Notons que 28,52% des interviewés déclarent déjà parler des plantes aquatiques invasives autour d'eux.

L'effet des connaissances sur les plantes va globalement dans le sens escompté.

En effet, plus on déclare connaître le phénomène des plantes aquatiques invasives, plus on s'engage, *a fortiori* si l'on est en capacité d'identifier la menace (c'est-à-dire la plante) locale. Par exemple²⁵, 37,30% des individus ayant reconnu la Jussie se déclarent prêts à participer à un chantier d'arrachage, contre 33,80% dans la population totale. Ce taux monte à 55% voire à 60% pour la Myriophylle du Brésil et le Lagarosiphon. Parmi toutes les actions, c'est l'arrachage qui est le plus sensible à l'information puisque le taux de réponse est systématiquement, et significativement, plus élevé chez les individus ayant déclaré connaître le phénomène (globalement ou localement).

²⁵ Par soucis de lisibilité, tous les tableaux ne sont pas reproduits. Ils sont disponibles sur demande

« Avez-vous déjà vu cette plante ? » (Jussie)

« Vous-même, accepteriez-vous de prendre part aux opérations suivantes de lutte contre les plantes »

<i>Engagemen</i>	<i>Oui</i>		<i>Non</i>		<i>Fais déjà</i>	
	<i>Vu=« oui »</i>	<i>Pop</i>	<i>Vu=« oui »</i>	<i>Pop</i>	<i>Vu=« oui »</i>	<i>Pop</i>
Changer mes habitudes	78,40%	82,70%	13,70%	12,80%	7,80%	4,50%
Parler autour de moi ***	39,20%	50,60%	5,90%	20,20%	54,90%	29,20%
Transmettre des informations **	45,10%	35,00%	52,90%	64,70%	2%	0,40%
Participer à un arrachage** *	37,30%	33,80%	51%	65,70%	11,80%	3,70%
Aider au financement	23,50%	17,30%	74,50%	81,20%	2%	1,50%

Lecture : 37,30% des individus qui reconnaissent la Jussie seraient prêt à participer à un chantier d'arrachage, contre 33,8% dans l'ensemble de la population étudiée

Il en va de même avec les impacts perçus : les réponses « oui » et « je le fais déjà » aux propositions d'engagement sont, dans l'ensemble, plus nombreuses si les rôles perçus sont négatifs, et inversement²⁶. Là encore, les actions sont inégalement impactées : si les chantiers d'arrachage et la communication apparaissent sensibles à la nature des impacts, le financement et la contribution aux observatoires participatifs ne sont, pour leur part, liés à aucune des réponses sur les impacts (qu'ils soient positifs ou négatifs).

Entre autres, la spécificité du financement se manifeste également *via* son lien avec les réponses sur l'attachement du site. Contrairement à l'arrachage ou au fait de parler des plantes autour de soi, par exemple, le financement est une des deux seules actions dont les taux n'augmentent qu'avec des motivations « pragmatiques » et « utilitaristes » (« meilleur » ou « seul » endroit où pratiquer, gratuité de l'accès)²⁷.

²⁶ Il semble d'ailleurs s'opérer un transfert entre ces deux réponses puisque lorsque la réponse « je le fais déjà » est plus élevée que la moyenne, en cas d'impact perçu négatif, alors la réponse « oui » est, elle, inférieure à la moyenne.

²⁷ Pour plus de détails sur ces variables « d'attachement », nous renvoyons notamment à Dehez (2020)

Croisement entre contribution financière et attachement du site

Aider au financement des opérations	« oui »		« non »		« le fait déjà »	
	Ech	Pop	Ech	Pop	Ech	Pop
« Que représente pour vous le lac ? »						
Le seul où pratiquer*	38,1%	16,8%	61,9%	81%	0%	2,3%
Meilleur où pratiquer**	29,4%	16,8%	64,7%	81%	5,9%	2,3%
C'est gratuit*	21,4%	16,8%	76,1%	81%	2,5%	2,3%

Lecture : 38,1% des individus déclarant que c'est le « seul lieu où pratiquée » sont prêt à aider financièrement, contre 16,8% dans l'ensemble de l'échantillon

Enfin, une dernière illustration de la spécificité de chaque engagement apparaît dans l'effet des origines géographiques des usagers.

Engagement	« Oui »		« Non »		« Le fais déjà »	
	Résident	Touriste	Résident	Touriste	Résident	Touriste
Changer mes habitudes	77,6%	81,4%	13,6%	14,9%	8,8%	3,7%
Parler des plantes invasives*	51,6%	54,7%	14,6%	21,7%	33,8%	23,6%
Transmettre des observations	42,8%	34,8%	56,6%	64%	0,7%	1,2%
Chantier d'arrachage***	40,3%	27,2%	51,9%	71,6%	7,8%	1,2%
Aider au financement	13,3%	19,9%	85,3%	77%	1,3%	3,1%

Les résidents déclarent plus que les touristes « déjà parler des plantes aquatiques invasives » (33,8% contre 23,6%), ce qui n'est certainement pas sans rapport avec les réponses sur les connaissances et les sources d'information (cf. Ci-dessus). De même, ils seraient plus nombreux à vouloir s'impliquer dans un chantier d'arrachage (40,3% contre 27,2%).

« Pour quelle(s) raison(s) avez-vous choisi de ne pas participer à une ou plusieurs des opérations précédentes ? »

	Touristes	Résidents	Ensemble
Je n'habite pas ici***	87,5%	6,2%	47,65%
Ce n'est pas à moi de le faire**	15,8%	47,6%	32,21%
Je ne m'en sens pas capable physiquement**	17,1%	28,3%	22,49%
Je n'ai pas les moyens financiers***	9,2%	26,2%	17,45%
Je n'ai pas assez de temps, ni de disponibilités***	3,9%	20,7%	12,41%
Je ne saurais pas le faire, je n'ai pas les compétences	5,9%	9,7%	8,05%
Je ne suis pas équipé, je n'ai pas le matériel adéquat**	1,3%	7,6%	4,36%
Ça ne m'intéresse pas	2%	2%	2,01%

Dans l'ensemble, les individus n'évoquent pas tant un problème de ressources, que de responsabilité, voire de légitimité à intervenir (« je n'habite pas ici », à 47,65%, « ce n'est pas

moi de le faire », à 32,21%). Parmi les contraintes, ce sont l'âge ou les problèmes physiques qui apparaissent d'abord (22,49% de citations), devant les moyens financiers (17,45%) ou le temps (12,41%).

Bien que de passage, les touristes évoquent moins souvent le manque de temps (3,9%) que les résidents (26,2%). De même, ils n'estiment pas que c'est en dehors de leur responsabilité (« ce n'est pas à moi de le faire », à 15,8% contre 47,6%). La principale barrière réside finalement dans leur sentiment d'appartenance au territoire, sans que l'on soit totalement en mesure d'en expliquer la source. *A priori* ni les compétences (« je ne sais pas le faire » à 5,9%), ni le matériel (1,3%) ne sont pas en cause, autrement dit il y a là deux verrous importants que les politiques n'auront pas à lever.

4. Coordination et innovation territoriale

4.1. Introduction

La reconnaissance des différentes parties prenantes, de leurs attentes, de leurs motivations, ne saurait, à elle seule, garantir la mise en place d'une gouvernance effective et partagée. A ce stade, la question de la coordination reste totalement ouverte, rendue d'autant plus complexe que l'on tente aujourd'hui de l'ouvrir à de « nouveaux » acteurs (cf. Ci-avant). L'enjeu est bien évidemment d'ordre économique, car une organisation efficace participe de la pleine utilisation du potentiel de ressources (humaines, financières, matérielles, relationnelles...) que les uns et les autres sont susceptibles d'apporter.

Pourtant, c'est un autre sujet sur lequel la littérature économique apparaît limitée. De façon schématique, on oscille entre deux cas de figures « polaires » : d'un côté, une organisation décentralisée, où les comportements individuels sont régulés selon des logiques de marché, et par les outils de marché (Epanchin-Niell 2017) et, de l'autre, une situation du type de la fourniture d'un bien public, par un opérateur unique dont on imagine qu'il possède les droits nécessaires sur la ressource, ainsi que les moyens financiers adéquats (Perrings, Williamson *et al.* 2002)²⁸. Nous pensons qu'une telle dichotomie ne peut rendre compte, à elle seule, de la diversité des situations de gestion (Lovell et Stone 2005) et qu'il faut, pour cela, changer de focale.

Dans le cadre du projet AquaVIT, nous nous écartons ainsi des approches normatives standards (Perrings, Williamson *et al.* 2002, Marbuah, Gren *et al.* 2014, Epanchin-Niell 2017) pour aborder la gestion des plantes aquatiques invasives sous l'angle de la fourniture d'un service (Gadrey 2000, Aznar 2011, Dehez 2019). Nous appliquons cette grille d'analyse à une sélection de cas d'études (n=37), identifiés sur les lacs rétro littoraux de Nouvelle Aquitaine.

Nous montrons en quoi l'implication des usagers correspond à une innovation de type relationnelle. Aujourd'hui, ces innovations n'apparaissent pas n'importe où, pas nécessairement là où il y a le plus de plantes, mais le plus souvent là où les usages sont fortement impactés, sur des propriétés publiques où les droits d'accès sont ouverts.

A défaut de pouvoir s'appuyer sur des repères clairs et partagés par tous, les gestionnaires mobilisent des références alternatives, parfois de l'ordre du tacite, issues des représentations et des savoirs locaux. En reconnaissant expressément le poids et l'effet des contingences locales, ces repères « flottants » favorisent à leur tour la dimension territoriale de l'innovation.

²⁸ C'est implicitement le cas retenu dans la majorité des approches basées sur du contrôle optimal (Olson et Santanu 2002, Finnof, Shogren *et al.* 2007)

Si le cadre institutionnel a ouvert la voie à une territorialisation de la gestion, c'est définitivement l'implication des usagers, et les modalités de co-construction, qui vont façonner le processus. Les innovations sont localisées, majoritairement de type « incrémentale » (elles apportent de nouvelles caractéristiques à un dispositif préexistant). Les compétences recherchées sont avant tout opérationnelles (main d'œuvre pour l'arrachage) et relationnelles (réseaux personnels). En dépit des motivations et des intentions à s'engager, dont témoignent les utilisateurs des plans d'eau, les soutiens (humains, techniques et financiers) des pouvoirs publics restent essentiels. Enfin, si stimulantes soient-elles, ces innovations par les usages peinent à dépasser l'échelon infra local, de sorte que la mise en relation entre les chantiers (une innovation de type architecturale), que l'on peut légitimement envisager compte tenu des dynamiques spatiales des plantes, repose encore essentiellement sur des réseaux socio-professionnels des gestionnaires.

4.2. Approche scientifique

A y regarder de plus près, les analogies entre la gestion des plantes aquatiques invasives, d'une part, et l'économie des services, d'autre part, sont multiples. Tout d'abord, nombre des tâches couramment appliquées dans ce domaine relèvent d'ores et déjà de ce secteur, comme la recherche scientifique (Richardson D.M. (ed) 2011, Vaz, Kueffer *et al.* 2017), la surveillance et la détection (Delaney, Sperling *et al.* 2008, Hester et Cacho 2017, Shackleton, Adriaens *et al.* 2019), la communication (Cole, Keller *et al.* 2016) ou le contrôle (Nuñez et Pauchard 2010). Même la restauration et l'entretien des milieux, traditionnellement perçues comme des activités productives, soutiennent la comparaison, dès lors que l'on se réfère à la notion de « service environnemental » donnée par Aznar (2003), à savoir une « intervention sur un bien de nature (non marchand)²⁹, en vue de permettre l'usage environnemental de ce dernier. Les attributs environnementaux du bien support sont améliorés ou maintenus en l'état »³⁰.

Le tableau suivant nous permet d'aller un peu plus loin, en identifiant plusieurs propriétés communes de part et d'autre.

²⁹ Appelé « bien support » (Gadrey 2003).

³⁰ Cette définition est finalement assez proche de celle fourni par Miles (2003) au sujet des « physical services », dont l'objet est l'entretien des biens et des infrastructures matérielles.

Propriété économique des services ³¹	Propriétés des invasions biologiques
L'output est flou, sa mesure dépend d'un système de valeur	Les représentations, perceptions et attitudes vis-à-vis des plantes et de leur impact sont variables (Shackleton, Richardson <i>et al.</i> 2018{Garcia-Llorente, 2008 #1004}). L'efficacité des mesures et des techniques est souvent discutée (Barker 2008)
Les effets du service se manifestent dans le temps, ce qui conduit à différencier l'output (service « intermédiaire ») de l'outcome (service « final »)	les invasions ont un caractère dynamique et incertain (Simberloff 1996). Les objectifs poursuivis par les acteurs sont variés (Shackleton, Richardson <i>et al.</i> 2018){Garcia-Llorente, 2008 #1004}
L'output est co-produit ³²	La gestion est rarement le fait d'un acteur unique. Elle implique de multiples acteurs, y compris les usagers (Novoa, Shackleton <i>et al.</i> 2018, Pagès, Fischer <i>et al.</i> 2019, Shackleton, Adriaens <i>et al.</i> 2019)

Tableau 1 : Invasions biologiques et économie des services, essai de mise en perspective

Dans ce travail, nous sommes appuyés sur la définition proposée par Gallouj et Weinstein (1997) qui, inspirée des théories Lancaster (1966), proposent une représentation générale des services, au travers de caractéristiques (ou de vecteurs de caractéristiques). Ces caractéristiques visent les compétences (humaines) C_i et les facteurs (techniques) X_i , qui entrent dans le processus de production, ainsi que sur le produit final Y_i qui en émerge.

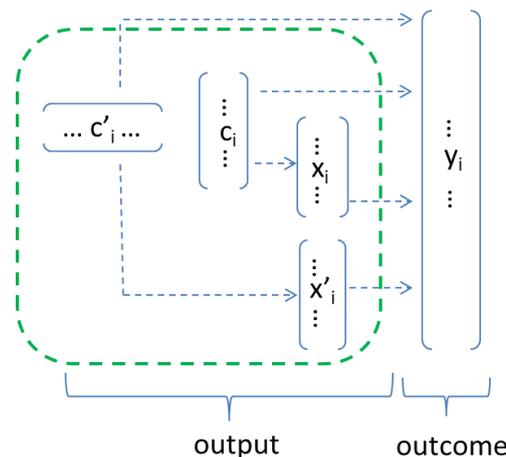


Figure 1 : Représentation économique des services selon Gallouj et Weinstein (1997)

Un service Y_i , défini par ces caractéristiques y_i , apparaît donc comme le résultat d'une combinaison productive entre des compétences c_i et des facteurs techniques x_i . Les compétences et les techniques sont variés (Gallouj et Weinstein 1997). Les compétences sont

³¹ D'après (Gallouj et Weinstein 1997, Aznar 2002, Gadrey 2003).

³² Constitutive même de la notion de service, la propriété de co-production n'est pas réservée à ce secteur unique. La définissant plus généralement comme la situation où « les inputs des individus qui ne sont pas dans la même organisation sont transformés en biens et services », E. Ostrom (1996), prix Nobel d'Economie en 2009, y voit l'opportunité de concevoir de nouveaux modes de gouvernance, et de gestion des ressources naturelles (Ostrom 2009).

aussi bien opérationnelles, relationnelles, scientifiques et techniques, que créatives. Les facteurs techniques se réfèrent à la fois à des aspects matériels (capital, finance) et organisationnel (procédures, administration...). Bien que Gallouj et Weinstein (1997) n'aient jamais appliqué leur cadre à des activités relatives à la gestion du patrimoine naturel, nous pensons que les facteurs environnementaux (tels que les plantes et milieux naturels), indissociables de la problématique des invasives, entrent tout à fait dans la catégorie des facteurs techniques x_i . Le principe d'une co-production entre producteur et consommateur reste au cœur de l'analyse, *via* des combinaisons de compétences C_i et C'_i ou des combinaisons de facteurs X_i et X'_i appartenant respectivement à l'un ou à l'autre.

Outre d'élargir considérablement la palette des schémas organisationnels potentiels, une telle conceptualisation permet également de traiter la question l'implication des usagers, sous la forme d'une innovation (Miles 2003, Djellal, Gallouj *et al.* 2013). Nous inspirant à nouveau des travaux de Gallouj et Weinstein (1997) nous considérons qu'une telle innovation peut être analysée au travers des changements induits dans l'un ou plusieurs des vecteurs de caractéristiques du service (Gallouj et Weinstein 1997). Plusieurs formes d'innovations sont envisageables :

- incrémentales, lorsque des caractéristiques sont améliorées ou ajoutées sans changer fondamentalement la nature du service (adoption d'un nouveau protocole de monitoring, modifications des techniques d'arrachage...);
- radicales, lorsque un nouveau service, ou qu'un vecteur de caractéristiques apparaît (mise en place d'un nouveau chantier d'arrachage, substitution de l'intervention mécanique par du traitement manuel);
- architecturales, lorsque plusieurs services sont combinés pour donner naissance à un nouveau (gestion de plusieurs sites de façon coordonnée, mise en place d'une séance d'animation et de formation en parallèle d'un chantier de nettoyage...);
- ad hoc, lorsque les services sont conçus selon une logique de « sur-mesure »;
- de formalisation, lorsque le service est répliqué et reproduit au-delà du contexte au sein duquel il a été élaboré (par exemple, lorsqu'un protocole de *monitoring*, élaboré sur un site-test, est utilisé ensuite ailleurs).

Nous complétons le cadre en posant deux hypothèse supplémentaires sur la nature des innovations, relativement à leur caractère institutionnel (Weiss, Martin *et al.* 2007) et/ou territorial (Delaplace, 2017 #1109).

Evoquer le rôle des institutions dans les processus d'innovation revient à supposer que ces dernières n'émergent pas n'importe où, mais au sein de réseaux d'acteurs, eux même inscrits dans des contextes économiques, réglementaires et sociaux {Weiss, 2007 #743}. Ces institutions doivent être perçues suivant une acception large : c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas uniquement de lois, de réglementations ou de dispositifs officiels mais aussi de tout un ensemble de « règles de jeu », plus ou moins tacites, qui ont pour origine les conventions sociales, les règles d'usages et autres croyances locales (Lam 2000).

De même, la territorialisation ne se résume pas à la question des échelles géographiques, ni même à la localisation des opérations. Nous inscrivant dans une approche relationnelle de l'espace (Amin 2002, Bathelt et Glueckler 2003), nous n'abordons pas celui-ci comme un simple réceptacle des activités humaines mais comme un objet construit, par les acteurs, au travers des relations qu'ils y nouent. Dans ces conditions, parler de « territorialisation » de la gestion et de l'innovation revient à tester l'hypothèse de leur endogénéité, le plus souvent dans une logique de type « bottom-up » (Beunen 2016).

4.3. Matériau et méthodes

Pour le projet AquaVIT, un protocole empirique original a été élaboré. Ce dernier croise une double lecture : par les acteurs, d'une part, et par les organisations, d'autre part. Une telle approche permet d'obtenir simultanément des informations sur les collectifs et sur les comportements individuels, sans dissocier, artificiellement, les uns des autres.

L'analyse des acteurs reprend une partie des données récoltées dans les entretiens semi-directifs et dans l'enquête quantitative auprès des usagers et des riverains. Toutes deux ont été décrites aux chapitres précédents.

L'analyse des organisations a procédé deux façons.

Un premier travail a consisté à établir une liste d'observations (qu'on appellera également « chantiers ») sur des expériences de gestion des plantes aquatiques invasives, en Aquitaine, et toujours mises en œuvre en 2019. Cette liste fut établie progressivement, sur la base d'informations diverses, recueillies aussi bien dans des documents écrits tels que des comptes rendus d'opérations, que dans les entretiens menées auprès des acteurs³³.

Chaque chantier-observation a été décrit par plusieurs variables, à caractère quantitatif et/ou dichotomique³⁴, recueillies et codées par nos soins. Conformément au cadre d'analyse des services, ces variables concernent

- les caractéristiques techniques du chantier : nature du bien support, type d'opération, étendue spatiale, nombre de jours consacrés, nature de l'invasion ;
- les caractéristiques organisationnelles et les compétences mobilisées : type de propriété, implication des usagers, source de financement (extérieur ou non), présence d'un encadrement technique extérieur, première date de réalisation ;
- les objectifs de gestion affichés : suivant que les interventions visent le rétablissement ou le maintien d'un service à caractère récréatif, environnemental ou hydrologique.

A ces variables, s'ajoutent d'autres données de contexte, principalement sur la localisation géographique (commune, lac, ...). Par souci d'homogénéité, les valeurs renvoient toutes à la dernière observation, à savoir 2019.

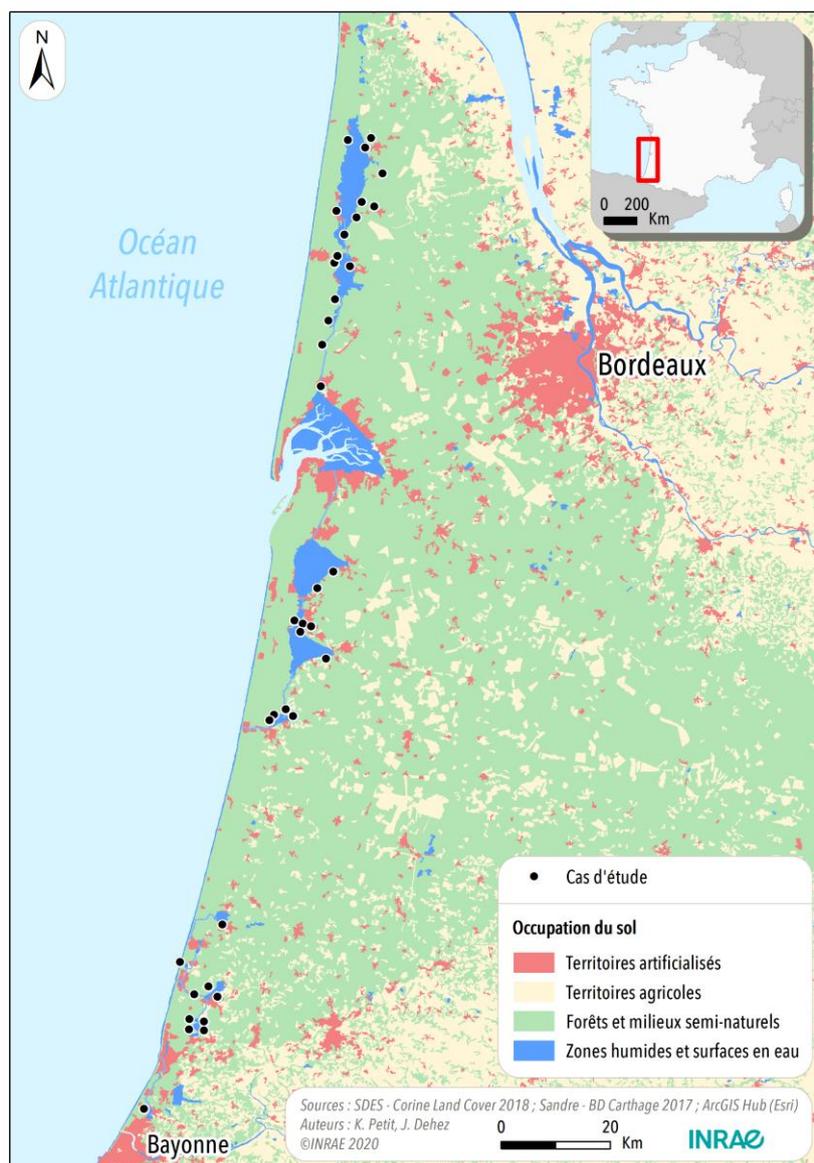
Malgré l'effort consenti à niveau, nous sommes conscients des limites qui persistent : avec 37 observations (13 en Gironde, et 24 dans les Landes), caractérisées par 13 variables, il est difficile d'envisager des traitements statistiques trop complexes. L'approche demeure, de ce fait, en partie exploratoire. Convenons qu'il s'agit là d'une première étape, en vue d'une démarche qui gagnerait à être déployée à plus grande échelle dans le futur³⁵.

Au final, nos observations sont variées et, sans prétendre à l'exhaustivité complète, sont assez représentatives de la diversité des situations rencontrées en Aquitaine (cf. carte suivante).

³³ C'est la raison pour laquelle, après croisement des chantiers et des entretiens, nous parvenons au résultat d'avoir rencontré au moins une personne par chantier (cf. Ci-Après).

³⁴ C'est à dire du type « présence » ou « absence » de la modalité (unique) de variable.

³⁵ Par exemple, le recensement du groupe technique sur les invasions biologiques en milieu aquatiques (GT IBMA) n'abordait, qu'à la marge, la question de la coordination et des relations partenariales (Mazaubert et Dutartre 2012).



Carte 1 : Localisation des cas d'études retenus pour l'analyse des innovations territoriales

Onze lacs sont couverts, avec des superficies comprises entre 6 Ha à 5.700 Ha, sur 16 communes (5 en Gironde et 11 dans les Landes). Les opérations d'arrachage manuel sont dominantes, présentes dans 20 observations (54%), devant le faucardage mécanique (n=9). Trois observations affichent les deux, et deux autres observations ne requièrent que de la surveillance. Enfin, trois observations font état de techniques beaucoup spécifiques (nous y reviendrons). Les interventions sont localisées sur les rives des lacs (n=17, 45%), puis les cours d'eaux (n=8, 22%), les ports (n=4), les espaces protégés (n=3), ou dans un bassin dessableur (n=1). Plus de la moitié (n=25, 67%) sont reconduites chaque année, les autres sont menées de façon plus ponctuelle. La quasi-totalité des observations est issue de propriétés publiques (n=33, 89%). Une observation se situe dans une propriété privée et une autre observation dans un espace associant les deux (i.e, publique et privée). Ce résultat est doublement symptomatique : premièrement, qu'il est beaucoup plus difficile de collecter de l'information sur les propriétés privées que sur des propriétés publiques, et, deuxièmement, que les contraintes d'accès (liées au respect de la propriété privée) basculent de fait la gestion

des plantes sur des individus isolés, plutôt que sur des collectifs (ce qui nous renvoie à la situation « décentralisée » précédente).

Plusieurs fois, nous avons multiplié les observations autour d'un même lac, afin d'étudier les éventuelles relations entre les chantiers.

Lac	Superficie (Ha)	Nb. d'obs.
Carcans-Hourtin	5.700	8
Lacanau	2.000	8
Cazaux Sanguinet	5.800	2
Petit Etang	92	3
Biscarosse		
Parentis_Biscarosse	3.600	2
Aureilhan	340	4
Léon	340	1
Moliets	7	0
Laprade	14	0
Moisan	6	1
Soustons	380	3
Hardy	42	2
Blanc	183	2
Noir	20	0
Turc	8	1
Garros	22	0
Total	18.554	37

Tableau 2 : Répartition des cas d'études

Enfin, un peu moins de la moitié des observations (n=16, 44%) font état d'une innovation prenant la forme d'une implication d'utilisateurs finaux. Le tableau suivant décrit une partie des caractéristiques de cette sous-population.

<i>Implication des usagers</i>	<i>Avec (n=16)</i>	<i>Sans (n=21)</i>	<i>Ensemble (n=37)</i>
Arrachage manuel	75%	38%	54%
Présence de Jussie	69%	48%	57%
Intervention annuelle	75%	57%	68%
Objectif loisirs	75%	52%	62%
Objectif environnemental	31%	38%	35%
Objectif hydrologique	12%	29%	22%
Localisation rive	62%	33%	46%
Localisation zone de navigation	12%	4,75%	9%
Localisation réseau hydraulique	12,5%	23,81%	22%
Localisation ports	6,25%	14%	11%

Lecture : 75% des observations avec implication des usagers réalisent un arrachage manuel, contre 38% pour celles sans implication, et 54% dans l'échantillon total.

Tableau 3 : principales caractéristiques des cas d'études avec implication des usagers

Un second travail a consisté à croiser les chantiers-observations avec les entretiens semi-directifs précédents, nous conduisant à développer une approche comparable à celle de

« l'étude de cas ». Dans ces conditions, il nous est arrivé de privilégier le contact avec plusieurs acteurs impliqués au sein d'un même chantier, afin d'étudier les éventuelles relations entre ceux-ci. Cette méthodologie permet de retracer les relations entre divers chantiers, notamment lorsqu'un acteur déclarait être impliqués dans plusieurs chantiers à la fois. Le tableau de correspondance reproduit en annexe synthétise le nombre d'acteurs rencontrés pour chacun des chantiers-observations : entre 1 et 6 acteurs par chantiers, selon les cas. Notons d'ores et déjà que 6 acteurs ne sont rattachés à aucun chantier. *A posteriori*, ceux-ci ont en effet déclaré intervenir sur d'autres sites que ceux de notre échantillon, ou alors, intervenir à des échelles trop étendues pour coïncider avec une localisation en particulier. Nous considérons cependant que le regard extérieur qu'ils portent sur le sujet est loin d'être négligeable.

4.4. Résultats

4.4.1 Des premiers signes de co-production

Les innovations impliquant les usagers sont avant tout de type « incrémental », assises sur des compétences relationnelles et opérationnelles (cf. Ci-dessus)

A quelque exception près (cas d'un agriculteur intervenant dans l'entretien d'un cours d'eau), les usagers identifiés dans notre échantillon ne le font pas à titre personnel. Ce sont des membres d'association de pêche, de chasse, de plaisanciers, de riverains, de protection de l'environnement, et des scolaires. Ce résultat montre comment les compétences relationnelles sont valorisées. Dans les Landes, un technicien rappelle ainsi « *combien, il est difficile d'avoir des adhérents ou même le bureau. C'est vraiment des personnes qui sont moteurs dans leur asso, voilà. Parce que je sais que ici, sur XX, normalement, ils répondent présents quoi. Le président, monsieur XX, qui est aussi assez sensible à ça, généralement quand lui, il vient, y'a 4 ou 5 personnes qui viennent avec lui automatiquement* » (entretien n°15). Les usagers d'ailleurs sont conscient de cette ressource, comme cette représentante d'une association de chasse qui nous confirme que les bénévoles « *c'est des gens qui nous connaissent très bien. Ils connaissent notre action. Ils viennent, je vais pas dire pour nous, mais parce que c'est nous. Donc ils savent que si on le fait, y'a pas de problème quoi, voilà. On est quand même assez suivis dans ces choses-là* » (entretien n°7). Dans ce contexte, certaines absences sont tout aussi remarquables. En particulier, les entreprises de loisirs et de sports de nature, pourtant gros utilisateurs des lacs, sont très peu impliqués. Il est vrai que le secteur regroupe une myriade de (très) petits acteurs, hétérogènes, qui revêtent souvent le statut d'autoentrepreneur, de micro société ou de TPE, aux comportements jugés plutôt individualistes. A côté de quelques cas très particuliers (cf. notre entretien n°27), le regard porté par les gestionnaires à leur égard est assez dur, les accusant d'être là uniquement « *pour faire du pognon* » (entretien n°15). La méconnaissance respectueuse entre ces deux univers (la gestion de l'environnement et les sports de nature) reste un obstacle majeur à l'organisation et à l'innovation.

Mais les compétences relationnelles sont aussi le moyen de capter ce qui reste la principale ressource que les usagers ont à offrir, à savoir de la main d'œuvre (i.e. une compétence opérationnelle). Le fait que les chantiers impliquant des usagers soient plus nombreux que les autres à réaliser des opérations manuelles (tableau 3) en est une illustration³⁶.

Là encore, les usagers eux-mêmes sont conscients de cet apport, comme le dit ce représentant d'une association de pêche « *vous avez des techniciens qui sont plus – prenez-le pas pour vous - habilités à travailler dans les bureaux et puis d'autres qui sont manuels comme on peut l'être. Donc ils se sont rendus compte qu'on faisait beaucoup de travail aussi bien à la rivière*

³⁶ Différence significative sur un plan statistique, malgré la petite taille de l'échantillon.

que... » (entretien^o2). Du côté des gestionnaires, cette main d'œuvre n'est pas uniquement appréciable au regard de son coût. Elle donnerait en effet « *de très, très bons résultats jusqu'à arrêt du mécanique. Et là, on on peut dire, on dépasse les objectifs initiaux qui étaient de maîtriser le végétal puisque là, elle a des secteurs où elle (la plante) a été éradiquée* » (entretien n^o21). Cette qualité se traduit ensuite en résultat économique : « *Ouais, sur les coûts, ben voilà, les coûts, pour donner une idée, de mémoire, la première année, avec 20 000 euros, on faisait 5 kilomètres de travaux. Là, avec 15 000 euros on fait à peu près, allez, on va dire 25 kilomètres de travaux, plus les lacs, plus les zones en...* » (Entretien n^o21).

Par contre, il est vrai que les compétences expertes et créatives sont peu mobilisées. Les « volontaires » l'admettent : « *c'est quand même lui (le technicien) qui nous dit aussi c'qu'il faut faire et c'qu'on doit pas faire, voilà. Et heureusement ! Heureusement ! C'est normal parce que bon, sinon nous, on n'a pas non plus des connaissances comme eux, peuvent avoir ou comme vous. On n'a pas suivi non plus des études où on a besoin justement d'être secondé, c'est important. (...)* »³⁷ (Entretien n^o2) Et puis, certains gestionnaires ne sont pas, non plus, toujours très enclins à y avoir recours, comme ce technicien qui avoue se méfier des « néo-ruraux » parce que « *la population change fort. Aujourd'hui, il faut savoir qu'on est à trois heures de Paris ici, donc ce n'est pas les mêmes attentes. Parce que venir à la campagne pour être à la campagne ne pas supporter la poule ou le coq du voisin ... enfin moi c'est pas ma mentalité. Et que ce genre de personnes-là vont plus nous faire courir à l'urgence qu'autre chose* » (entretien n^o21)³⁸.

Enfin, les barrières ne résident pas uniquement dans le manque de reconnaissance dont souffrirait untel ou untel. Très rapidement, en effet, des problèmes purement organisationnels surgissent. Cela touche d'abord la sécurité « *Là, on l'a fait entre nous, je vais pas dire qu'on était juste, on aurait pu faire quand même beaucoup plus, les gilets sauvetage, y'a des ceci, des cela donc voilà... Là, aujourd'hui on le fait parce qu'on maîtrise, on sait qui c'est qu'on a... Après en l'ouvrant un plus, il faut le faire différemment parce qu'y'a des responsabilités-là qui... qui courent un peu dans tous les sens* » (entretien n^o15). De façon plus prosaïque, ce sont aussi des questions d'emploi du temps quand « *les périodes propices à ce type d'action ne leur permettent pas, enfin, ils ne peuvent pas être disponibles pendant ces périodes-là. Donc essentiellement en période estivale voire un peu avant, en juin...-juillet, où, ils ont tous des régates à organiser, des choses comme ça donc, c'est... c'est pas tout à fait compatible* » (entretien n^o14) et que « *ça demande une organisation différente. Ça demande à travailler automatiquement le week-end donc ça veut dire que les collectivités, après, on se retrouve confronté, voilà...* » (Entretien n^o15).

Ce dernier point est certainement un facteur important pour expliquer le différentiel entre, d'une part, les déclarations d'intentions faites par les usagers en termes d'engagement (cf. Ci-dessus) et, d'autre part, le nombre décroissant de bénévoles que l'on constate sur le terrain. Ou alors, il faudrait chercher du côté des objectifs autour desquels on communique aujourd'hui, qui ne seraient pas nécessairement les meilleurs. Ce technicien, par exemple,

³⁷ Résultat qui peut paraître surprenant, voire contradictoire, avec certaines conclusions qui sont ressorties de l'enquête de fréquentation, lorsque les usagers ne déclarent pas refuser s'engager au motif d'un éventuel manque de compétences. L'interprétation des réponses mériterait d'être approfondie.

³⁸ Sur ce plan, les cas d'études 10 et 11, au lac de Lacanau, font figure d'exception. C'est en effet une des rares occasions où plusieurs associations d'usagers (riverains, plaisanciers, pêcheurs) ont réussi à s'associer et afficher un front commun, afin d'interpeler les collectivités locales sur le développement des plantes invasives au sein de leur lieux de pratiques. Si les échanges ont pu, pour une fois, se mener sur les terrains scientifiques et techniques, la coordination était aussi motivée par une mutualisation des moyens et des coûts. On verra un peu plus loin que cette optimisation technique constitue finalement le principal mode de coordination entre usagers (lorsque celle-ci existe).

envisagerait volontiers « *une opération de grand nettoyage du lac de XX, je dis n'importe quoi, où à l'intérieur on va, ben ramasser des détritiques, on va aller faire un peu de l'arrachage également de plantes, faire une p'tite sensibilisation* » (Entretien 15). Dans le même esprit, il est rassurant de constater que des gestionnaires restent convaincus que « *les gens qui participeraient à ça puissent réellement être acteurs* » (Entretien n°15).

4.4.2. Un contexte institutionnel « flottant »

La dimension institutionnelle de la gestion des plantes aquatiques invasives est bien réelle. Elle affiche, de surcroît, un certain paradoxe.

Si trois des quatre plantes³⁹ que nous étudions sont effectivement identifiées comme faisant partie de la catégorie des Espèces Exotiques Envahissantes (EEE), d'abord par l'U.E (en 2016)⁴⁰, plus récemment par la France, cela ne signifie pas que la France se soit dotée d'une politique forte en la matière. La première stratégie nationale française sur les EEE date 2017. Elle affiche des intentions très générales vis-à-vis de l'introduction, l'identification des foyers, la gestion des espèces déjà installées ou l'élimination des déchets. Dans la pratique, ces directives sont peu, voire pas, suivies d'effets, puisqu'il est, par exemple, toujours possible d'acheter des pieds de *Lagarosiphon* et de *Myriophylle* du Brésil dans les magasins d'aquariophilie⁴¹. Pour preuve, une majorité des acteurs que nous avons interrogés avoue n'avoir « *pas les dernières informations* » et ne suivre « *pas le fil de l'actualité* » (entretien n°28). Pire encore, ils pensent que cette réglementation est totalement inefficace et que « *vers la réalité des choses, ça ne s'applique pas ou quasiment pas* ». (entretien n°28).

Cette faiblesse de la politique nationale a plusieurs conséquences.

Pour certains observateurs, cela aurait déjà largement contribué à favoriser le développement de stratégies locales. Dans leur inventaire, Sarat *et al.* (2015) ont ainsi identifié de très nombreuses initiatives et politiques, mises en place à des niveaux très variés, tels que le bassin versant de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, le département de la Charente, ou encore le réseau EEE de la région des Pays de la Loire.⁴² Dans les Landes, l'action du syndicat mixte Géolandes en est une autre illustration : dès sa création en 1989, le syndicat s'empare de la problématique des plantes aquatiques invasives, en restaurant, par des moyens mécaniques, plusieurs plans d'eau envahis (Dutartre et Oyarzabal 1993) (Fournier et Zuazo 2012). La stratégie a significativement évolué depuis lors, passant progressivement des interventions mécaniques en maîtrise d'ouvrage, à la mise en place d'incitation en faveur de l'arrachage manuel, à destination des partenaires locaux. Ce dispositif a eu, et a toujours, une influence significative sur les dynamiques de gestion (cf. Ci-après).

Nos propres observations nous conduisent à évoquer un effet supplémentaire, ayant constaté que les acteurs locaux n'hésitent pas s'appuyer sur d'autres normes et outils lorsque nécessaire. Ces normes sont relatives à la protection ou la gestion des milieux au sein desquels ces plantes se sont développées. Elles renvoient à la nature de la ressource (SAGE, DCE, contrat de rivières...), à son statut de protection (site Natura 2000, Réserve Naturelle...) ou encore aux fonctions et usages associés (ports, canaux...). Bien que peu nombreux dans notre échantillon, les ports, bassins dessableurs, les réseaux hydrauliques mais aussi les espaces protégés (réserves naturelles) se distinguent nettement du reste de l'échantillon,

³⁹ La Jussie, le *Lagarosiphon Major* et la *Myriophylle* du Brésil

⁴⁰ Règlement d'exécution 2016/11141).

⁴¹ Seules deux espèces de Jussie sont sous le coup d'un arrêté préfectoral (du 2 mai 2017) interdisant leur commercialisation, leur utilisation et leur introduction du milieu naturel.

⁴² Chacun faisant, au passage, sa propre « liste » des EEE (Dutartre, Mazaubert *et al.* 2012).

affichant une gestion relativement autonome, du type de celle d'un bien public (gestionnaire unique, également maître d'ouvrage). Le « public » y est quasi absent.

Type d'espace	Bassin dessableur	Port	Réseau hydraulique	Espace protégé	Ensemble de l'échantillon
% avec participation du public	0%	25%	28,6%	0%	44%

Lecture : 25% des chantiers dans les ports font appel à la participation du public, contre 44% dans l'ensemble de l'échantillon.

Tableau 4 : croisement entre type de bien support et participation du public

Ces éléments nous paraissent témoigner d'un glissement, à tout le moins d'un élargissement, du bien support autour duquel la relation de service se noue, formé par la combinaison des plantes et des milieux naturels. Cette tendance renforcerait un peu plus l'hypothèse de la territorialisation de l'innovation.

Dernière conséquence, et pas des moindres, l'absence de repères officiels, crée de l'espace pour d'autres institutions, à caractère moins formel cette fois. Au chapitre précédent, nous avons vu que les représentations autour des invasives sont multiples et « souples » et, qu'aujourd'hui, elles ont pris le dessus sur les définitions expertes normatives. L'enquête quantitative auprès des usagers et des touristes abonde en ce sens, soulignant les fonctions ambivalentes, c'est-à-dire tantôt positive, tantôt négative, que les individus assignent aux plantes. L'éradication est loin d'être plébiscitée, remplacée par une tendance au « vivre avec » les plantes.

4.4.3. La territorialisation par l'usage

Empruntant la voie laissée libre par les institutions, l'arrivée du secteur récréatif va donc largement façonner la dimension territoriale de l'innovation.

Le choix de la zone d'intervention en est le premier signe visible. Ainsi, dans notre échantillon, la majorité (n=23, 62%) des chantiers est justifiée par le maintien ou de restauration des activités de loisirs et, même si les usagers ne se focalisent pas uniquement sur ces sites, ces derniers représentent tout de même les trois quart de leur contribution totale (n=12). Très souvent, les périmètres se calent sur les espaces de pratiques, tels que des parcours de pêche, des accès ou des zones de navigation⁴³.

Cette implication est très localisée. Parmi les personnes interviewées, les acteurs rangés dans la catégorie des « usagers » participent, en effet, à un, voire deux, chantiers maximum (cf. Annexe). Certes, cette distribution est, pour partie, liée à leur statut : les associations de pêche vont prioritairement s'investir dans l'entretien de leurs parcours, les chasseurs dans leurs domaines cynégétiques et les plaisanciers dans les ports où ils ancrent leur bateau. Rappelons que la caractéristique d'un ancrage local est également très présente dans les résultats de l'enquête quantitative, où l'on a montré, notamment, que les visiteurs fréquentaient un nombre limité de sites (Dehez 2020).

Les entretiens fournissent un éclairage complémentaire, en faisant ressortir les signes de conflits d'usages symptomatiques d'une trop grande proximité entre les usagers (Torre et Carron 2009). Ainsi, comme nous l'indique ce pêcheur: « *ce plan de... de canoë, ben ça me*

⁴³ Le tableau 3 montre que les ports constituent une exception notable. Bien qu'exclusivement dédié à la plaisance, les usagers n'interviennent qu'à la marge dans son entretien. Celle-ci est souvent déléguée à la collectivité territoriale (commune, communauté de communes) qui en a la charge. La logique est typiquement celle d'un « bien de club ».

plait pas trop. Enfin, ça plait à personne parce que automatiquement tout c'qui allait au bord quand les gens vont passer ben c'est fini quoi. On pourra plus pêcher. Donc ça va être la guerre. Ça va être la bagarre. Puisque déjà avec l'aviron sur le lac, les mecs, ils viennent à 10 mètres, même pas, c'est tout juste s'ils viennent dans vos lignes. Les paddle, c'est pareil. Les planches à voile, c'est pareil. Enfin, pas les planches à voile, les voiliers. » (Entretien n°26).

Dans ces conditions, seuls les gestionnaires se révèlent en capacité de tisser des relations entre les diverses initiatives, notamment grâce à leurs réseaux sociotechniques. De nouveau, la correspondance (cf. Annexe) entre acteurs et chantiers est instructive, puisque trois acteurs déclarent intervenir dans pas moins de 15 chantiers, trois autres dans 7 à 8 chantiers, et quatre de plus dans 3 à 4 chantiers. En outre, nos entretiens ont montré que cette multiplication des chantiers favorisait la création d'une « vision d'ensemble » permettant *in fine* une mise en relation entre les sites, assorties potentiellement de nouvelles coopérations. L'échange de savoirs (compétences expertes) est un vecteur de cette mise en relation. Comme l'indique ce technicien : « *le syndicat rivières a pris compétence sur le territoire de... de XX, de tous les ruisseaux et eux, ils avaient une certaine expérience que nous, qu'on n'avait pas forcément. Et aujourd'hui, on travaille de plus en plus et de mieux en mieux avec eux et c'qui nous donne la possibilité, ben, d'échanger un peu les techniques, les manières de faire et ... et de travailler ensemble* » (entretien n°15). Le partage de matériel (facteurs techniques) en est un autre : « *Par exemple la mini pelle qui est juste à côté qui appartient au XX, voilà, des fois ils nous donnent la possibilité de faire facilement des travaux* » (entretien n°15). D'ailleurs, lorsque des coopérations entre usagers existent, celles-ci se font très souvent sur la base des facteurs techniques. Ainsi la représentante d'une association de chasseurs évoque-t-elle ses relations avec une association de pêche voisine « *Par exemple, on comme on a du matériel agricole, nous, on leur nettoie les bords du ruisseau du XX* » (Entretien n°7). Un peu plus loin, c'est avec un club nautique « *qui nous met à disposition des p'tites embarcations pour pouvoir entreposer, pouvoir déposer les herbiers à arracher. Voilà y'a une sorte de partenariat comme ça qui s'est institué de manière un peu naturelle* » (entretien n°14).

Jusqu'à une certaine limite, les relations socioprofessionnelles parviennent à se jouer des barrières institutionnelles. Cependant, plusieurs gestionnaires regrettent aussi que les occasions d'échanger ne soient pas plus nombreuses. Compte tenu de l'important levier de coordination que cela représente, les politiques locales auraient certainement tout intérêt à renforcer la « proximité organisée » (Torre et Zuindeau 2009) qui s'est progressivement construite entre ces acteurs.

5. Annexes du volet SHS

Annexe 1 : Liste des entretiens réalisés

28 entretiens – 38 enquêtés – 40h16 d'enregistrements.
(pour certaines structures, plusieurs enquêtés différents ont été rencontrés. Par souci d'anonymat, leurs fonctions ne sont pas précisées)

Structure, nombre d'enquêtés présent lors de l'entretien
AAPPMA de Cazaux-Sanguinet : 2 personnes
AAPPMA Parentis : 1 personne
Syndicat Mixte du Bassin Versant des Lacs du Born et Syndicat Mixte Géolandes : 3 personnes
Communauté de communes des Grands lacs et Syndicat Mixte du Bassin Versant des Lacs du Born : 2 personnes
Fédération Départementale des AAPPMA 33 : 2 personnes
Réserve naturelle nationale « dunes et marais d'Hourtin » : 1 personne
Association landaise des Chasseurs de gibier d'eau : 1 personne
Riverain, mobilisé contre les « algues » : 1 personne
SIAEBVELG : 1 personne
Association des chasseurs gestionnaires de l'environnement lacustre du Born (ACGELB) : 3 personnes
Club nautique d'Hourtin : 1 personne
APPMA de Hourtin : 2 personnes
Société de chasse d'Hourtin et Ville d'Hourtin : 1 personne
Communauté de commune des Grands Lacs : 1 personne
Ville de Soustons : 1 personne
SIAEBVELG : 1 personne
Réserve naturelle nationale de l'Etang de Cousseau : 1 personne
Société des Amis de Navarrosse : 2 personnes
Réserve biologique de Batejin : 1 personne
DTTM Landes : 1 personne
Mairie de Biscarosse : 1 personne
Conseil Départemental 33 : 1 personne
Ville de Lacanau : 1 personne
Communauté de communes Medoc Atlantique : 2 personnes
Ville de Lacanau : 1 personne
AAPPMA Mimizan : 1 personne
Société All Water : 1 personne
Syndicat de rivière Côte Sud : 1 personne

Annexe 2 : Questionnaire de l'enquête quantitative



Participez à une étude scientifique !

L'Institut de Recherches en Sciences et Techniques pour l'Environnement et l'Agriculture (Irstea) et la communauté de communes de Mimizan s'associent pour réaliser une **enquête auprès des usagers du lac d'Aureilhan**, afin de mieux connaître leurs pratiques, leurs attentes et leur opinion vis-à-vis du lac.

Vous allez sur le lac d'Aureilhan ? Vous l'appréciez ? Vous souhaitez vous exprimer sur son état écologique ou son aménagement ?

N'hésitez pas à prendre quelques minutes pour répondre au questionnaire suivant.

Les données collectées sont **anonymes** et ne serviront qu'à des fins de **recherches scientifiques**.

Cette enquête est soutenue par la région Nouvelle Aquitaine, l'Irstea et l'INRA (Institut National pour la Recherche Agronomique).

Merci d'avance pour votre contribution.

Une question ? contactez-nous !



jeoffrey.dehez@irstea.fr
sophie.broustey@cc-mimizan.fr



Votre lieu de vie

Habitez-vous Mimizan et ses environs, ou êtes vous en vacances dans la région ?

J'habite ici Je suis en vacances

Quel est le nom de votre commune de résidence ?

Quel est le numéro de département ?

Depuis combien de temps y vivez vous ?

 an(s)

Dans quelle commune passez-vous vos vacances ?

Quel est le numéro de département ?

Quelle est la durée de votre séjour ?

 jours

Dans quelle commune se trouve votre résidence principale ?

Quel est le numéro de département ?





Votre rapport au lac

Durant vos temps libres, fréquentez-vous les lieux suivants ?

	Souvent	Rarement	Jamais
Les plages de l'océan	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les bois et les forêts	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les rivières et les cours d'eau	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les lacs et les étangs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La montagne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les réserves naturelles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Les espaces verts en ville	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



← Précédent

Suivant →



A votre avis, sur combien de communes s'étend le lac d'Aureilhan ?

communes



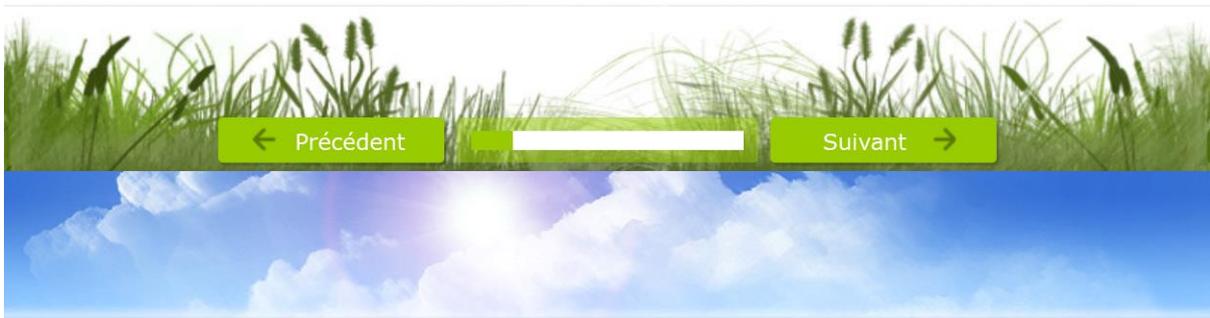
← Précédent

Suivant →



Laquelle ou lesquelles ?

Commune A	<input type="text"/>
Commune B	<input type="text"/>
Commune C	<input type="text"/>
Commune D	<input type="text"/>
Commune E	<input type="text"/>
Commune F	<input type="text"/>
Commune G	<input type="text"/>



Depuis combien de temps allez-vous au lac d'Aureilhan ?

C'est la première fois

an(s)

En général, quel(s) moyen(s) de transport utilisez-vous pour venir au lac ?

- A pied En voiture
 En vélo Autre

Si "autre", précisez

Le plus souvent, combien de temps de trajet cela représente-t-il (aller) ? mn

Vous y allez ?

- Seul En couple, en famille
 Avec des amis Autre

Si "Autre", précisez

Est-ce que des enfants vous accompagnent ? Oui Non





Que représente le lac d'Aureilhan pour vous ?

- C'est un endroit que je connais depuis longtemps, j'y ai mes habitudes
- C'est comme mon jardin, j'y suis particulièrement attaché
- C'est pratique et facile d'accès
- C'est le meilleur endroit où je peux pratiquer les activités qui me plaisent
- C'est gratuit
- C'est un endroit remarquable qu'il faut protéger à tout prix
- J'y viens pour mon travail
- C'est un lieu où je m'évade du quotidien tout en restant près de chez moi
- C'est le seul endroit où je peux pratiquer les activités qui me plaisent



Qu'est-ce qui vous plaît le plus sur le lac d'Aureilhan ?

- Voir des arbres
- Etre près de l'eau
- Voir des animaux
- Profiter du calme
- Pratiquer des activités sportives et de loisirs
- Profiter d'un espace de nature
- Passer du temps en famille
- Retrouver des connaissances
- Autre

Si "Autre" précisez





Quel est votre avis sur l'aménagement du lac?

	Pas du tout satisfait	Plutôt pas satisfait	Plutôt satisfait	Tout à fait satisfait	Non concerné
La propreté	<input type="radio"/>				
Les panneaux d'information	<input type="radio"/>				
Les bancs et tables de pique nique	<input type="radio"/>				
Les sentiers balisés	<input type="radio"/>				
Les pontons de pêche	<input type="radio"/>				
Les cales de mise à l'eau	<input type="radio"/>				
Les parkings	<input type="radio"/>				
Les commerces	<input type="radio"/>				
Les accès handicapés	<input type="radio"/>				
Les plages	<input type="radio"/>				
Les endroits laissés sauvages	<input type="radio"/>				



Quelles activités pratiquez-vous sur le lac ?

- Promenade, repos
- Chasse
- Sport, jogging
- Vélo-VTT
- Pique-nique
- Baignade
- Sortie en bateau
- Pêche
- Assister à des manifestations, des évènements
- Photo, peinture, activités artistiques
- Autres activités nautiques (canoé, aviron, Stand Up Paddle...)
- Autre

Si "Autre" précisez |





Quand venez-vous au lac Aureilhan ?

	Quasiment tous les jours	Toutes les semaines	Au moins une fois par mois	Jamais ou presque jamais
Hiver	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Printemps	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eté	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Automne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



Indiquez les endroits où vous allez (cliquez sur la ou les zones)





Biodiversité et environnement

Selon vous, quelles sont les grandes menaces qui pèsent sur le lac d'Aureilhan aujourd'hui?

- Le comblement
- Le développement touristique
- L'eutrophisation de l'eau
- L'invasion par les plantes aquatiques
- La multiplication des activités de loisirs (pêche, nautisme...)
- La prolifération des déchets
- Le manque d'entretien des ports
- Le manque d'entretien des berges
- Autre

Si Autres précisez



← Précédent

Suivant →



Avez-vous déjà vu cette plante sur le lac d'Aureilhan ?

Oui

Non

Peut-être



← Précédent

Suivant →

Indiquez les endroits où vous l'avez vue (sélectionner une ou plusieurs zones)



Pouvez-vous donner son nom ?

Je ne sais pas





Avez-vous déjà vu cette plante sur le lac d'Aureilhan ?

Oui

Non

Peut-être



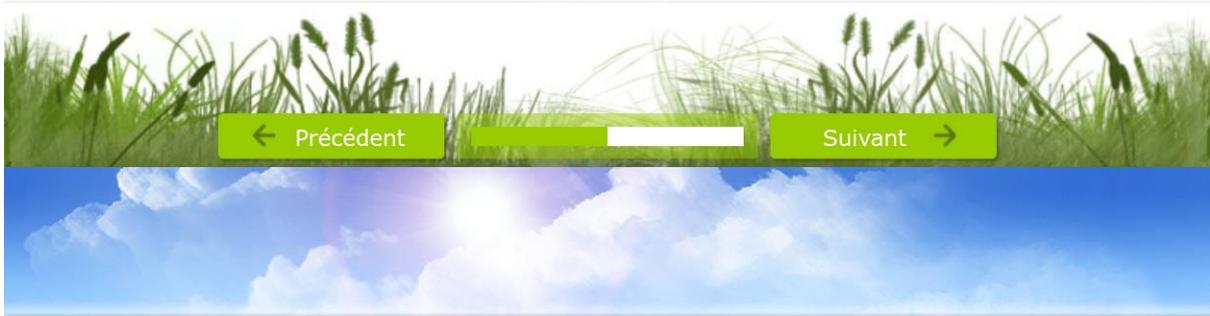
Indiquez les endroits où vous l'avez vue (sélectionner une ou plusieurs zones)





Pouvez-vous donner son nom ?

je ne sais pas



Avez-vous déjà vu cette plante sur le lac d'Aureilhan ?

Oui

Non

Peut-être



Indiquez les endroits où vous l'avez vue (sélectionner une ou plusieurs zones)



Pouvez-vous donner son nom ?

Je ne sais pas





D'après vous, quel(s) rôle(s) jouent les trois plantes précédentes sur le lac ?

- Elles gênent les activités (navigation, pêche, chasse...)
- Elles sont dangereuses pour les baigneurs
- Elles menacent les autres plantes
- Elles salissent l'eau et les berges
- Elles envahissent le lac
- Elles embellissent le paysage
- Elles améliorent la biodiversité
- Elles offrent un abri pour les poissons
- Elles filtrent l'eau du lac
- Elles sont intéressantes pour les oiseaux
- Autre

Si "Autre" précisez



Avez-vous déjà entendu parler des plantes aquatiques invasives ?

- Oui Non





Comment en avez-vous entendu parler ?

- Dans la presse régionale
- Sur internet
- Par mon entourage
- Par une association environnementale
- Par la mairie
- Par une association d'usagers de riverains
- Dans le cadre de mes études, de ma formation personnelle
- Dans le cadre de mon travail
- A la télévision ou la radio
- Autre

Si "Autre" précisez



← Précédent



Suivant →



La gestion du lac

A votre connaissance, quelles sont les mesures de protection en vigueur sur le lac d'Aureilhan?

- Natura 2000
- Réserve naturelle
- Réserve de chasse
- Réserve de pêche
- Parc régional
- Site classé
- Domaine public maritime
- Aucune de ces mesures
- Ne sait pas
- Autre

Si "Autre", précisez



← Précédent



Suivant →



Pensez-vous que des personnes ou des institutions interviennent sur ces plantes invasives ?

Oui

Non

Je ne sais pas



Lesquelles ?

- La communauté de communes
- La commune
- Le conseil départemental
- Le syndicat mixte Géolandes
- Les chasseurs
- Les pêcheurs
- Les associations de protection de l'environnement
- L'Agence de l'eau
- Le syndicat mixte du Bassin Versant Born et Buch
- Le syndicat de rivières
- Je ne sais pas
- Autre

Si 'Autre' précisez :





Pourquoi le ferait-il ?

- Pour rétablir la navigation sur le lac
- Pour améliorer la clarté de l'eau
- Pour éviter tout danger pour la santé
- Pour faciliter la pêche et la chasse
- Pour protéger les plantes locales
- Pour empêcher que les plantes invasives ne se propagent ailleurs
- Pour empêcher le comblement des lacs
- Autre

Si "Autres", préciser



← Précédent



Suivant →

Selon vous, quelle serait la meilleure attitude à adopter face à ces plantes aquatiques invasives ?

- Les éradiquer
- Limiter un minimum leur progression
- Laisser faire la nature
- Curer le lac
- Il n'y a rien à faire, on ne peut pas lutter
- Je ne sais pas
- Autre

Si "Autre" précisez



← Précédent

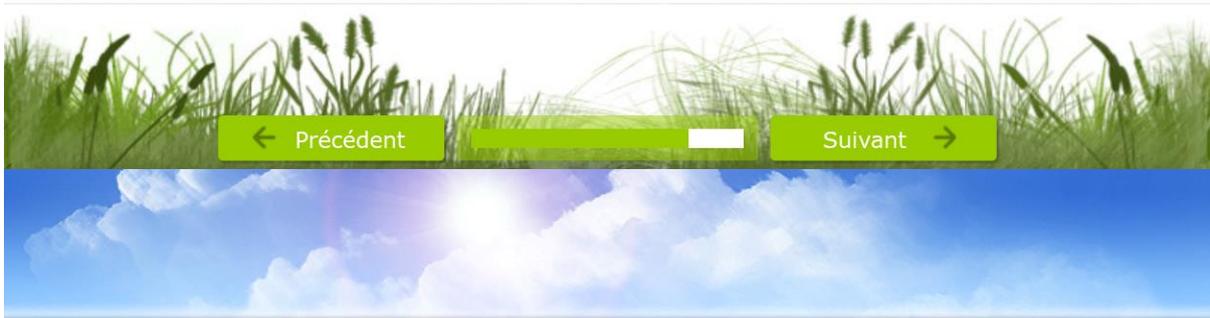


Suivant →



Vous-même, accepteriez-vous de prendre part aux opérations suivantes de lutte contre les plantes ?

	Oui	Non	Je le fais déjà
Parler des plantes aquatiques invasives autour de moi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transmettre des observations à un réseau de surveillance sur un site internet ou une appli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Participer à un chantier d'arrachage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aider au financement des opérations	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Changer mes habitudes, en évitant de naviguer dans certaines zones protégées	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



← Précédent



Suivant →

Seriez-vous prêt à participer à de nouveaux chantiers d'arrachage ?

- Oui Non

Combien de demi-journées par an accepteriez-vous de consacrer à ces chantiers d'arrachage ?

demi journées par an



← Précédent



Suivant →



Seriez-vous prêt à financer de nouvelles opérations ?

- Oui Non

Par quel moyen souhaiteriez-vous contribuer au financement ?

- Une augmentation de la taxe de séjour
- Une augmentation de la taxe de navigation
- Une augmentation des impôts locaux
- Un don à une association
- Une augmentation de la location des anneaux
- Une augmentation du prix des licences de pêche
- Une augmentation du prix des licences de chasse
- Autre

Si 'Autre' précisez :



Quel montant maximal seriez-vous prêt à payer pour aider au financement, chaque année?

€ par an





Pour quelle(s) raison(s) avez-vous choisi de ne pas participer à une ou plusieurs des opérations précédentes ?

- Ce n'est pas à moi de le faire
- Je n'ai pas assez de temps, ni de disponibilités
- Je ne m'en sens pas capable physiquement
- Je ne saurais pas le faire, je n'ai pas les compétences
- Je ne suis pas équipé, je n'ai pas le matériel adéquat
- Je n'ai pas les moyens financiers
- Ça ne m'intéresse pas
- Je n'habite pas ici
- Autre

Si 'Autre' précisez :



Pour mieux vous connaître

Vous êtes

- Un homme Une femme

Quelle est votre année de naissance ?

Avez vous des enfants ou des petits enfants ?

- Oui Non

Etes-vous membre d'une association de protection de l'environnement ?

- Oui Non

Etes-vous membre d'une autre association locale ?

- Oui Non

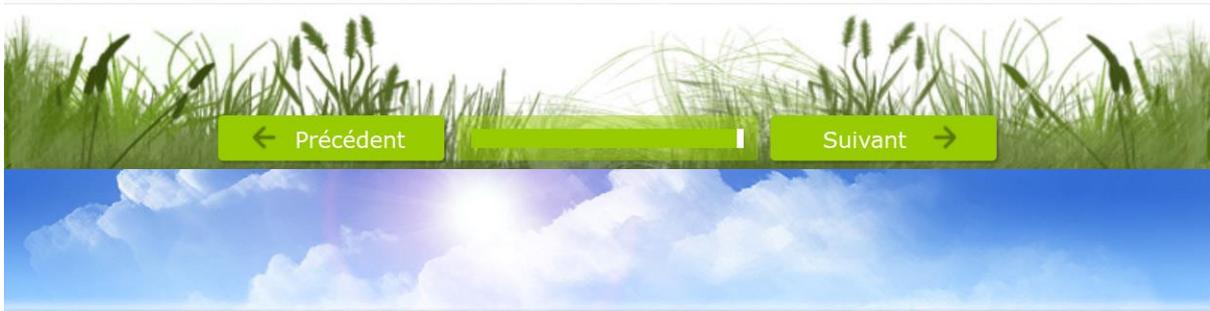
De quelle association s'agit-il ?





Quelle est votre situation d'emploi?

- En activité
- Demandeur(se) d'emploi inscrit(e) ou non à Pôle Emploi
- Retraité(e) ou préretraité(e)
- Étudiant(e) ou en apprentissage
- Femme ou homme au foyer
- Autre



← Précédent

Suivant →

Quel est votre niveau d'études ?

- Aucun diplôme
- CEP, BEPC, brevet des collèges
- CAP, BEP ou diplôme de niveau équivalent
- Bac général ou professionnel ou diplôme de niveau équivalent
- BTS, DUT, ou diplôme de niveau bac+2
- Licence, Maîtrise ou diplôme de niveau bac+3 ou bac +4
- Master, DEA, DESS, diplôme grande école ou diplôme de niveau équivalent bac+5
- Doctorat de Recherches

Dans quelle tranche de revenu (mensuel) se situe votre foyer ?

- Moins de 1200€
- de 1200€ à 2000€
- de 2000€ à 4000€
- Plus de 4000€



← Précédent

✓ Enregistrer

Annexe 3 : Tableau de correspondance entre acteurs interviewés et les cas d'études.

N° entretien		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Catégorie (G : Gestionnaire, U : usagers)		U	U	G	G	U	G	U	U5	G	U	U	U	G	G	G	G	G	U	G	G	G	G	G	G	G	U	U	G	
1	Lambrusse									X							X													2
2	Fossé des bache et craste de Pipeyrous									X							X													2
3	Queytive									X							X													2
4	Collège d'Hourtin									X							X													2
5	Anses Gaouelou Ouest -Piqueyrot					X				X		X					X													4
6	Port d'Hourtin									X	X						X							X						4
7	Base nautique Bombanne									X							X													2
8	Fossé et maré du Pouch									X							X													2
9	Lac de Lacanau rive Ouest				X			X		X							X						X			X				6
10	Halte nautique lacanau									X							X						X	X	X					5
11	Lac de Lacanau rive Ouest									X							X					X	X	X						5
12	Réserve biologique de Batejin									X							X			X										3
13	Réserve naturelle -Cousseau									X							X	X												3
14	Etang de Batourtot									X							X													2
15	canal du Porge et de Lège									X							X													2
16	Fossés et Zones humide Lèges									X							X													2
17	Matoq			X	X						X				X															4
18	Embouchure de l'Arreillet			X	X						X				X															4
19	Rive Sud Petit Etang de Biscarosse				X										X								X							3
20	Port Lyli																						X							1
21	Conche Taron				X																		X							2
22	Latécoere-Taron			X	X										X								X							4
23	Anse de Parentis		X	X	X										X															4
24	Club de voile			X	X										X															3
25	Promenade fleurie			X	X										X												X			4
26	Anse saint paul			X	X										X															3
27	Embouchure du courant de Sainte Eulalie			X																										1
28	Etang de Moisan			X																										1
29	Etang de Soustons - Rive Est			X												X														2
30	Etang de Soustons - Rive Ouest			X												X														2
31	Canal de Vieux boucau															X														1
32	Etang Hardy			X												X														2
33	Etang Hardy			X												X														2
34	Etang Blanc			X			X									X														3
35	CCAS - Etang Blanc			X												X													X	3
36	Etang de Léon - Rive Sud			X																										1
37	Etang du Turc			X																									X	2
Somme		0	1	18	8	1	1	1	1	16	2	1	1	0	8	7	16	1	0	1	0	4	0	3	3	3	1	0	2	

6. Références bibliographiques du volet SHS

- Amin A. (2002), "Spatialities of globalisation", *Environment and Planning A*, 34, p.385-399.
- Atlan, A. & Darrot, C. (2012). Les invasions biologiques entre écologie et sciences sociales : quelles spécificités pour l'outre-mer français ?. *Revue d'Ecologie, supplément 11*, 101-111.
- Aznar O. (2002), *Services environnementaux et espaces ruraux : Une approche par l'économie des services*. Thèse pour le doctorat de Faculté de sciences économiques et de Gestion, soutenue publiquement le Université de Bourgogne, Dijon.
- Aznar O., Perriet-Cornet P. (2003), "Les services environnementaux dans les espaces ruraux: une approche par l'économie des services", *Economie Rurale*, 273-274(janvier-avril), p.142-157.
- Barker K. (2008), "Flexible boundaries in biosecurity: accommodating gorse in Aotearoa New Zealand", *Environment and Planning A*, 40, p.1598-1614.
- Bathelt H., Glueckler J. (2003), "Toward a relational economic geography", *Journal of Economic Geography*, 3(117-144).
- Bessy, C. & Chateauraynaud, F. (2015). Being attentive to things: Pragmatic approaches to authenticity. Postscript to the second edition of *Experts et Faussaires*, 52 p.
- Beunen R. (2016), "Innovation in Protected Area Governance: Competing Models and Their Impact in Different Places", *6th Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas*, Novi Sad, Faculty of Geography, Serbia.
- Boonman-Berson, S., Turnhout, E. & van Tatenhove, J. (2014). Invasive species: the categorization of wildlife in science, policy, and wildlife management. *Land Use Policy*, 38, 204-212.
- Bravo-Vargas V., García R. A., Pizarro J. C., Pauchard C. A. (2019), "Do people care about pine invasions? Visitor perceptions and willingness to pay for pine control in a protected area", *Journal of Environmental Management*, 229(1), p.57-66.
- Bryce R., Oliver M. K., Davies L., Gry H., Urquhart J., Lambin X. (2011), "Turning back the tide of American mink invasion at an unprecedented scale through community participation and adaptive management", *Biological Invasions*, 144, p.575-583.
- CBD (2014), *Pathways of introduction of invasive species, their prioritization and management*, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada.
- Céfaï, D. (2016). Social worlds: The legacy of Mead's social ecology in Chicago sociology. In H. Joas & D. R. Huebner (Eds), *The timeliness of George Herbert Mead* (pp.165-184). Chicago, USA: University of Chicago Press.
- Céfaï, D. & Terzi, C. (2012). *L'expérience des problèmes publics*. Paris, France: Editions de l'EHESS.
- Chauvin, P.-M. (2006). Les classifications en actions. De la sociologie durkheimienne des classifications aux hiérarchies des vins de Bordeaux. *Tracés*, 10, 29-43. <https://doi.org/10.1086/676922>
- Claeys, C. (2013). Biological invasions as cause and consequence of 'our' changing world. In S. Lockie, D.A. Sonnenfeld & D.R. Fisher (Eds), *Routledge International Handbook of Social and Environmental Change* (pp. 280-291). London, UK: Routledge.
- Cole E., Keller R. P., Garbach K. (2016), "Assessing the success of invasive species prevention efforts at changing the behaviors of recreational boaters", *Journal of Environmental Management*, 184, p.210-218.
- Davis, A., Chew, M.K., Hobbs, R.J., Lugo, A.E., Ewel, J.J., Vermeij, G.J., Brown, J.H., Resenzweig, M.L., Gardener, M.R., Carroll, S.P., Thompson, K., Pickett, S.T.A., Stromberg, J.C., Del Tredici, P., Suding, K.N., Ehrenfeld, J.G., Grime, J.P., Mascaro, J. and Briggs, J.C. (2011). Don't judge species on their origins. *Nature*, 474, 153-154. <https://doi.org/10.1038/474153a>

- Debarbieux, B. (2004). The symbolic order of objects and the frame of geographical action : An analysis of the modes and effects of categorisation of the geographical world as applied to the mountains in the West. *GeoJournal*, 60, 397-405. <https://doi.org/10.1023/B:GEJO.0000042976.00775.24>
- Dehez J. (2020), *Etude de fréquentation sur le lac d'Aureilhan (Landes) - Partie I: Les pratiques et les attentes*, INRAe, Bordeaux.
- Dehez J. (2013), *Etude préalable au renouvellement du site Plan Plage du Gressier (33) - Phase 1 diagnostic, les caractères de fréquentation*, étude Irstea 154, Centre de Bordeaux.
- Dehez J. (coord.) (2012), *L'ouverture des forêts au public. Un service récréatif*, Quae, coll. Sciences et Techniques Update, Paris.
- Delaney D. G., Sperling C. D., Adams C. S., Leung B. (2008), "Marine invasive species: validation of citizen science and implication for national monitoring networks", *Biological Invasions*, 10, p.117-128.
- Delbart, E., Mahy, G., Weickmans, B., Henriët, F., Crémer, S., Pieret, N., Vanderhoeven, S., Monty A. (2012). Can land managers control Japanese Knotweed? Lessons from Control Tests in Belgium, *Environmental management* 50 (6), 1089-1097. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9945-z>
- Djellal F., Gallouj F., Miles I. (2013), "Two decades of research on innovation in services: Which place for public services", *Structural Change and Economic Dynamics*, 27(December), p.98-117.
- Doody, B.J., Perkins, J.J., Meurk, C.D. & Stewart, G.H. (2014). Performing weeds: Gardening, plant agencies and urban plant conservation, *Geoforum*, 56, 124-136. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2014.07.001>
- Douglas, M. (1966). *Purity and Danger: An Analysis of Concepts of Pollution and Taboo*. New York, USA: Routledge.
- Dutartre A., Mazaubert E., Poulet N. (2012), "Le groupe "invasions biologiques en milieu aquatique": origines, réalisations et perspectives", *Sciences Eaux & Territoires*, 1(6), p.12-17.
- Dutartre, A. (1992). Difficultés de gestion des milieux aquatiques imputables aux végétaux. Analyses de cas. ANPP, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Versailles, 2-4 décembre 1992, 8 p.
- Dutartre, A. (1995). Les plantes aquatiques exotiques : de simples curiosités ou des risques pour l'environnement ? ANPP, Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Reims, 6-8 décembre 1995, 9 p.
- Dutartre, A. & Fare, A. (2002). *Guide de gestion des proliférations de plantes aquatiques*. Cemagref/Agence de l'Eau Adour-Garonne.
- Dutartre A., Oyarzabal J. (1993), "Gestion des plantes aquatiques dans les lacs et étangs landais", *Hydrologie Appliquée*, 5, p.43-60.
- Ellis, R. (2011). Jizz and the joy of pattern recognition: Virtuosity, discipline and the agency of insight in UK naturalists' arts of seeing. *Social Studies of Science*, 41, 769-790. <https://doi.org/10.1177/0306312711423432>
- Epanchin-Niell R. S. (2017), "Economics of invasive species policy and management", *Biological Invasions*, 2017(19), p.3333-3354.
- Felstiner, W. L. F., Abel, R. L. & Sarat, A. (1980). The Emergence and Transformation of Disputes: Naming, Blaming, Claiming. *Law & Society Review*, 15, 631-654.
- Friedberg, C. (1999). Diversity, order, unity. Different levels in folk knowledge about the living. *Social Anthropology*, 7, 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8676.1999.tb00175.x>
- Finnof D., Shogren J., Leung B., Lodge D. (2007), "Take a risk: Preferring prevention over control of biological invaders", *Ecological Economics*, 62, p.216-222.
- Gadrey J. (2003), *Socio-économie des services*, Repères, La Découverte, Paris.
- Gallouj F., Weinstein O. (1997), "Innovation in services", *Research Policy*, 26(4-5), p.537-556.

- Garcia-Llorente S., Martin-Lopez B., Gonzalez J. A., Alcorlo P., Montes C. (2008), "Social perceptions of the impacts and benefits of invasive alien species: Implications for management", *Biological Conservation*, 141(2008), p.2969-2983.
- Gusfield, J. R. (1996). *Contested meanings: The construction of alcohol problems*. Madison, USA: The University of Wisconsin Press.
- Halpenny E. (2010), "Pro-environmental behaviors and park visitors: The effect of place attachment", *Journal of environmental Psychology*, 30(4), p.409-421.
- Head, L. (2017). The social dimensions of invasive plants, *Nature Plants*, 3. <https://doi.org/10.1038/nplants.2017.75>
- Head, L., Atchison, J. & Phillips, C. (2014). The distinctive capacities of plants: re-thinking difference via invasive species. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 40, 399-413. <https://doi.org/10.1111/tran.12077>
- Hester S., Cacho O. (2017), "The contribution of passive surveillance to invasive species management", *Biological Invasions*, 19, p.737-748.
- Jones, R. (2009). Categories, borders and boundaries. *Progress in Human Geography*, 33, 174-189. <https://doi.org/10.1177/0309132508089828>
- Lam A. (2000), "Tacit Knowledge, Organizational Learning and Societal Institutions: An Integratd Framework", *Organization Studies*, 21(3), p.487-513.
- Lancaster K. J. (1966), "A new approach to consumer theory", *Journal of political economy*, 74, p.132-157.
- Lankia T., Neuvonnen M., Pouta E., Sievänen T. (2014), "Willingness to contribute to the management of recreational quality on private lands in Finland", *Journal of Forest Economics*, 20(2014), p.141-160.
- Lovell S. J., Stone S. (2005), *The Economic Impact of Aquatic Invasive Species: A Review of the Litterature*, #05-02 W. P., National Center of Environmental Protection Agency, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C.
- Mameno K., Kubo R., Shoji Y., Tsuge T. (2020), "How to Engage Tourists in Invasive Carp Removal: Application of a Discrete Choice Model" in Saito et al. (eds), *Managing Socio-ecological Production Landscape and Seascapes for Sustainable Communities in Asia. Mapping and Navigating Stakeholders, Policy and Action*, Springer, p.31-44.
- Marchante H., Morais M. C., Gamela A., Marchante E. (2017), "Using a Webmapping platform to engage volunteers to collect data on invasive plant distribution", *Transactions in GIS*, 21, p.238-252.
- Mazaubert E., Dutartre A. (2012), *Enquête sur les espaces exotiques envahissantes et leur gestion en milieux aquatiques en France métropolitaine. Bilan 2011*, Irstea, Bordeaux.
- McNeely J. (2001), *The Great reshuffling. Human dimensions of invasive alien species* IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, U.K.
- Menzio, M.-J. (2010). Comment catégoriser les espèces exotiques envahissantes. *Etudes rurales*, 185, 51-66. <https://doi.org/10.4000/etudesrurales.9043>
- Miles I. (2003), *Innovation in services*, TEARI Project, TEARI Working Paper No16, University of Oslo,
- Mougenot, C. & Roussel, L. (2005). To poison or to trap ? The ecologisation of 'pest' control. *Sociologia Ruralis*, 45, 115-129. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2005.00294.x>
- Newman, D. & Paasi, A. (1998). Fences and neighbours in the postmodern world : boundary narratives in political geography. *Progress in Human Geography*, 22, 186-207. <https://doi.org/10.1191/030913298666039113>
- Novoa A., Shackleton R. T., Cavanan S., Cybèle C., Davies S. J., Dehnen-Schmutz K., Fried J., Gaertner M., Geerts S., Griffiths C. L., Kaplan H., Kumschick S., Le Maitre D. C., Measey J., Nunes A. L., Richardson D. M., Robinson T. M., Touza J., Wilson J. R. U. (2018), "A framework for engaging stakeholders on the management of alien species", *Journal of Environmental Management*, 2018(205), p.289-297.

- Nuñez M. A., Pauchard A. (2010), "Biological invasions in developing and developed countries: does one model fit all?", *Biological Invasions*, 12, p.707-714.
- Olson L. J., Santanu R. (2002), "The Economics of Controlling a Stochastic Biological Invasion", *American Journal of Agricultural Economics*, 84(5), p.1311-1316.
- Ostrom E. (2009), "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems", *Science*, 325(24 July 2009), p.419-325.
- Ostrom E. (1996), "Crossing the Great Divide: Coproduction, Synergy, and Development", *World Development*, 24(6), p.1073-1087.
- Painter, J. (2008). Cartographic anxiety and the search for regionality. *Environment and Planning A*, 40, 342-361. <https://doi.org/10.1068/a38255>
- Pagès M., Fischer A., van der Wal R., Lambin X. (2019), "Empowered communities or "cheap labour"? Engaging volunteers in the rationalised management of invasive alien species in Great Britain", *Journal of Environmental Management*, 229, p.102-111.
- Perrings C., Williamson M., Barbier E. B., Delfino D., Dalmazzone S., Shogren J., Simmons P., Watkinson A. (2002), "Biological Invasion Risks and the Public Good: an Economic Perspective", *Conservation Ecology*, 6(1). [online] URL: <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art1>
- Ramkissoon H., Weiler B., Smith L. D. G. (2012), "Place attachment and pro-environmental behaviour in national parks: the development of a conceptual framework", *Journal of Sustainable Tourism*, 20(2), p.257-276.
- Richardson D.M. (ed) (2011), *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*, Blackwell Publishing, Oxford.
- Robbins, P. (2001a). Fixed categories in a portable landscape : the causes and consequences of land-cover categorization. *Environment and Planning A*, 33, 161-179. <https://doi.org/10.1068/a3379>
- Robbins, P. (2001b). Tracking invasive land covers in India, or why our landscapes have never been modern. *Annals of the Association of American Geographers*, 91, 637-659. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00263>
- Robbins, P. (2004). Comparing invasive networks: cultural and political biographies of invasive species. *The Geographical Review*, 94, 139-156. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2004.tb00164.x>
- Robbins, P. & Moore, S.A. (2013). Ecological anxiety disorder : diagnosing the politics of the Anthropocene. *Cultural Geographies*, 20, 3-19. <https://doi.org/10.1177/1474474012469887>
- Rulleau B., Dehez J., Point P. (2011), "The Tourist Recreational Demand for Coastal Forests: Does Forest Really Matter ?", *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 92(3), p.291-310.
- Sarat E., Mazaubert E., Dutartre A., Soubeyran Y. (2015), *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques: connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 2 - expériences de gestion*, Collection Comprendre pour agir, Onema,
- Shackleton C. M., Adriaens T., Brundu G., Dehnen-Schmutz K., Estevez R. A., Fried J., Larson B. M. H., Liu S., Marchante E., Moshobane M., Novoa A., Reed M., Richardson D. M. (2019), "Stakeholder engagement in the study and management of invasive alien species - A review", *Journal of Environmental Management*, 229(2019), p.88_101.
- Shackleton R. T., Larson B. M. H., Novoa A., Richardson D. M., Kull C. A. (2019), "Editorial - The human and social dimensions of invasion science and management", *Journal of Environmental Management*, 2019(229).
- Shackleton R. T., Richardson D. M., Shackleton C. M., Bennett B., Crowley S. L., Dehnen-Schmutz K., Estevez R. A., Fischer A., Kueffer C., Kull C. A., Marchante E., Novoa A., Potgieter L. J., Vaas J., Vaz A. S., Larson B. M. H. (2018), "Explaining people's perceptions of invasive alien species: A conceptual framework", *Journal of Environmental Management*, 229, p.10-26.
- Simberloff, D. (on behalf of 141 signatories) (2011). Non-natives : 141 scientists object. *Nature*, 475. <https://doi.org/10.1038/475036a>
- Simberloff D. (1996), "Risks of species introduced for biological control", *Biological Conservation*, 78(1-2), p.185-192.

- Simberloff D., Parker I. M., Windle P. N. (2005), "Introduced species policy, management, and the future research needs", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 3, p.12-20.
- Snow, D. A., Rochford, E. B., Worden, S. K. & Benford, R. D. (1986). Frame alignment processes, micromobilization, and movement participation. *American sociological review*, 51, 464-481. <https://doi.org/10.2307/2095581>
- Thiébaud, G. & Dutartre, A. (2009). Management of invasive aquatic plants in France. In G.H. Nairne (Eds), *Aquatic Ecosystem Research Trends* (pp. 25-46). Nova Science Publishers.
- Tassin, J. & Kull, C.A. (2012). Pour une autre représentation métaphorique des invasions biologiques. *Nature Sciences Sociétés*, 20, 404-414. <https://doi.org/10.1051/nss/2012042>
- Torre A., Carron E. (2009), "Réflexions sur les dimensions négatives de la proximité : le cas des conflits d'usage et de voisinage", *Economie et Institutions*, 6 et 7(1er et 2e semestre), p.183-219.
- Torre A., Zuindeau B. (2009), "Proximity economics and environment: assessment and prospects", *Journal of Environmental Planning and Management*, 52(1), p.1-24.
- Vaz A. S., Kueffer C., Kull C. A., Richardson D. M., Schindler S., Munoz-Pajares A. J., Vicente J. R., Martins J., Hui C., Kühn I., Honrado J. P. (2017), "The progress of interdisciplinarity in invasion science", *Ambio*, 46, p.428-442.
- Vesley E.-T. (2007), "Green for green: the perceived value of quantitative change in urban tree estate of New Zealand", *Ecological Economics*, 63(605-615).
- Waterton, C. (2003). Performing the classification of nature. *The Sociological Review*, 51, 111-129.
- Weiss G., Martin S., Matilainen A., Venesseland B., Nastase C., Nybakk E., Bouriaud L. (2007), "Innovation Processes in Forest-related Recreation Services: The Role of Public and Private Resources in Different Institutional Background", *Small-scale Forestry*, 6, p.423-442.
- Wilkins E. J., Sinclair W., Miller H. M., Schuster R. M. (2019), "Does Proximity to Wetlands Matter? A Landscape-Level Analysis of the influence of Local Wetlands on the Public's Concern for Ecosystem Services and Conservation Involvement", *Wetlands*, 39, p.1271-1280.
- Woods, M. & Moriarty, P.V. (2001). Strangers in a strange world : the problem of exotic species. *Environmental Values*, 10, 2, 163-191. <https://doi.org/10.3197/096327101129340796>