



## Atténuer l'impact du marnage artificiel sur la biodiversité des retenues : l'exemple du projet UROS et de ses îlots flottants

Samuel WESTRELIN<sup>1,4</sup>, Quentin SALMON<sup>1,4</sup>, Julien DUBLON<sup>1,4</sup>, Sébastien FONBONNE<sup>2</sup>, Jean-Marc BAUDOIN<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Aix-Marseille Univ., INRAE, RECOVER, 13182 Aix-en-Provence, France.

<sup>2</sup> ECOCEAN, 1342 avenue de Toulouse, 34070 Montpellier, France.

<sup>3</sup> OFB, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Service EcoAqua, 13182 Aix-en-Provence, France.

<sup>4</sup> Pôle R&D ECLA, France.

Correspondance : Samuel WESTRELIN, [samuel.westrelin@inrae.fr](mailto:samuel.westrelin@inrae.fr)

*Dans de nombreux plans d'eau soumis au marnage artificiel, les zones littorales — pourtant essentielles à la biodiversité — se dégradent fortement. Le projet UROS explore une solution innovante : des îlots flottants capables d'offrir en continu des habitats variés. Testés pendant quatre ans sur la retenue de Serre-Ponçon, les résultats prometteurs laissent entrevoir la capacité de ces îlots à restaurer une partie des fonctionnalités écologiques perdues, sous réserve de confirmer ces tendances à long terme.*

### Introduction

Les écosystèmes lacustres contribuent fortement à la biodiversité terrestre et aquatique et hébergent de nombreuses espèces endémiques menacées (Collen *et al.*, 2014). Ils sont également exploités pour de nombreux usages comme la production d'hydroélectricité, l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation, ou bien encore les activités récréatives. La dépendance de nombreuses activités humaines à ces milieux a ainsi conduit à l'artificialisation de nombreux lacs naturels et à la création de nombreuses retenues artificielles (79 % des plans d'eau de plus de 50 ha sont artificiels en France) (Zarfl *et al.*, 2015). Les zones littorales des écosystèmes lacustres concentrent une grande diversité d'habitats et une importante biodiversité (Strayer et Findlay, 2010), mais elles sont aussi particulièrement soumises aux altérations anthropiques générées par ces activités (artificialisation des rives, gestion des niveaux d'eau, batillage, piétinement, etc.). Un fort marnage\* appauvrit la qualité et la diversité des habitats disponibles et diminue la biodiversité de la zone littorale. Evtimova et Donohue (2016) ont par exemple montré qu'il conduisait à un substrat littoral plus grossier avec moins de couverture végétale de type

macrophytique dans les zones peu profondes. Le fort marnage peut ainsi entraîner la perte de zones de refuge, notamment pour les jeunes stades de poissons (Kaczka et Miranda, 2014), voire même assécher des pontes. Les structures de communautés s'en trouvent modifiées avec souvent un déclin de la richesse littorale spécifique\* des poissons et des macro-invertébrés (Hirsch *et al.*, 2017 ; White *et al.*, 2011). Le recrutement naturel devient particulièrement délicat chez les espèces de poissons phytophiles pour lesquelles l'accès aux zones humides herbacées est critique à certains stades de vie (Tibblin *et al.*, 2023).

Si une gestion hydrologique des lacs plus respectueuse des cycles biologiques des espèces reste sans doute la solution d'atténuation des impacts la plus efficace, il est en pratique souvent très difficile d'abandonner ou d'adapter les usages à l'origine de ces fortes variations de niveau d'eau. À l'échelle européenne, dans le cadre de la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau (DCE) et plus particulièrement de la recherche de mesures pour l'atteinte du bon potentiel des retenues artificielles, un guide recense les solutions envisageables (Halleraker *et al.*, 2016). Gilbert et Tissot (2016) en proposent une

revue et distinguent deux grands types d'aménagements en soulignant le manque de retours sur leur efficacité : les frayères artificielles, dont l'objectif ciblé est d'améliorer la reproduction des poissons, et les mesures de restauration (incluant végétalisation des berges et radeau végétalisé), dont l'objectif est plus général et vise à améliorer la qualité de l'habitat et la dimension paysagère du site. Concernant la végétalisation des rives, de nombreux essais ont été tentés dans les années 1990 mais se sont avérés infructueux (Fraissé, 1999). On peut rajouter l'alevinage à la liste des méthodes utilisées pour espérer contrecarrer la mauvaise reproduction de certaines espèces sur certains sites, largement pratiqué en France, mais dont l'efficacité semble très limitée (Daupagne *et al.*, 2021). Parmi les solutions dites de « restauration », les îles artificielles flottantes présentent l'avantage majeur de suivre les variations de niveau d'eau, rendant accessibles en permanence des habitats proches de ceux naturellement présents dans les zones littorales lacustres. Si cette idée commence à émerger, il s'agit le plus souvent d'un simple tapis de végétation flottant, dont seules les racines sont immergées et font office de support de ponte pour les poissons. En outre, il existe à l'heure actuelle très peu de retours d'expérience et d'études scientifiques s'intéressant à l'architecture et à l'efficacité de telles structures (de Moraes *et al.*, 2023 ; Huang *et al.*, 2017). Elles ont le plus souvent été conçues et considérées seulement sous la forme de « filtres biologiques » pour lutter contre l'eutrophisation (Yeh *et al.*, 2015), l'apport en termes d'habitats pour la macrofaune aquatique étant généralement peu pris en compte.

Le projet de recherche et développement UROS a consisté à concevoir, construire et tester des îlots artificiels flottants végétalisés (végétations terrestre et aquatique) recréant des zones littorales de différentes profondeurs, disponibles en permanence pour la biodiversité. Le but recherché était que ces structures offrent des zones de substrat immergé et de végétation propices

à la reproduction des espèces de poissons phytophiles\* (frayères), à la croissance et la protection des jeunes poissons (nursérie) et à la colonisation par les invertébrés et les micro-organismes aquatiques. Nous dressons ici un bilan de ce projet au regard de ces objectifs.

## Site d'étude et design des îlots

### Le site d'étude

La retenue de Serre-Ponçon fait partie des plus grandes retenues de France métropolitaine avec une surface de 28 km<sup>2</sup> et une profondeur maximale de 110 m. Les multiples usages de cette retenue (hydroélectricité, irrigation, eau potable, contrôle de crue, activités récréatives) entraînent un marnage très important pouvant atteindre 49 m en une année (en moyenne 27 m de 2018 à 2022) et 1,6 m en une journée (source : EDF). Ces variations sont saisonnières avec une baisse importante du niveau de l'automne au début du printemps (production d'hydroélectricité), puis une remontée avec la fonte des neiges et une stabilité estivale à cote haute pour assurer les activités récréatives.

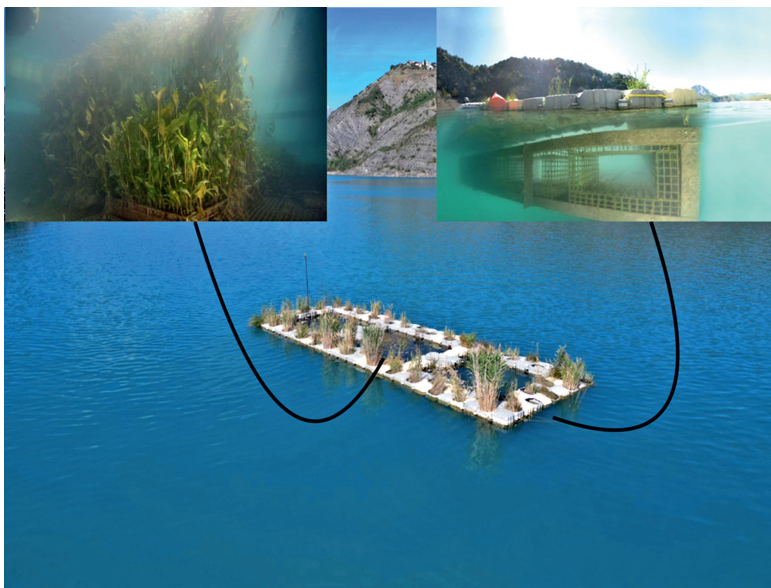
### La conception des îlots

Les îlots, d'une surface de 70 m<sup>2</sup> (14 m x 5 m), sont constitués, en leur périphérie, d'une partie terrestre plantée d'hélophytes\* locales et, au centre, d'une partie aquatique comprenant deux étages de profondeurs différentes végétalisés avec des hydrophytes\* locales. À 0,5 m de profondeur ont été plantées des plantes gazonnantes de taille moyenne (*Myriophyllum spicatum*, *Stuckenia pectinata*, *Chara* sp.) et, à 1 m de profondeur, du Potamogeton (*Potamogeton coloratus*, *Potamogeton nodosus*, *Potamogeton lucens*) pour le développement d'herbiers plus importants. La surface totale végétalisée est d'environ 14 m<sup>2</sup> par radeau et permet de créer des zones propices pour la biodiversité. Des cages grillagées remplies de coquilles d'huîtres recyclées et de verre cellulaire tapissent le fond de ces étages aquatiques et recréent un sol minéral. Sur les côtés de ces étages, de leur fond jusqu'à la surface, des cages grillagées (© Biohut) remplies de substrat et des cages vides ont été positionnées afin de protéger la zone centrale du batillage et de créer des refuges pour les poissons juvéniles (photo ❶ ; Salmon *et al.*, 2022).

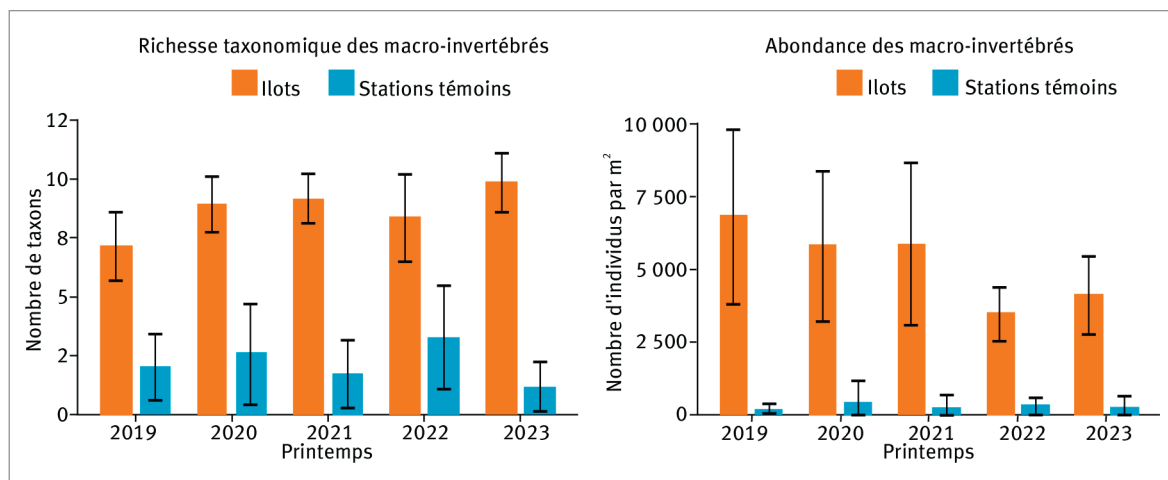
### La sélection des stations d'échantillonnage

Trois îlots flottants ont été installés en septembre 2018 dans la partie aval de la retenue. Le choix des zones d'implantation s'est fait selon plusieurs critères comme une profondeur supérieure à 30 m pour éviter l'échouage en période de basses eaux, des zones reculées en fond de baies pour être protégées des effets du batillage et éloignées des zones d'activités récréatives. La taille des stations\* littorales témoins (70 m de long x 1 m de large x 1 m de profondeur) a été définie en regard de la surface (70 m<sup>2</sup>) et de l'étagement aquatique (profondeur de 1 m maximum) des îlots. Deux catégories de stations témoins ont été sélectionnées dans le but de pouvoir mesurer un effet potentiel des structures flottantes dans leur environnement proche : pour chacun des îlots, une station littorale témoin proche se situant dans la même baie que la structure flottante et une station littorale témoin éloignée dans une baie voisine (Salmon *et al.*, 2022).

**Photo ❶** – Îlot flottant sur la retenue de Serre-Ponçon. Vue aérienne d'un îlot avec deux encarts photographiques, respectivement des herbiers aquatiques de la partie centrale de l'îlot à gauche et des structures grillagées (© Biohut) à droite (© Pôle ECLA-Ecocean).



**Figure 1** – Évolution de la richesse taxonomique et des abondances de macro-invertébrés. Valeur moyenne ( $\pm$  écart type standard) de la richesse taxonomique (panel de gauche) et de l'abondance au m<sup>2</sup> (panel de droite) des macro-invertébrés dans les stations témoins et dans les îlots au printemps de 2019 à 2023.



## Colonisation par les macro-invertébrés

### Méthodologie

Les communautés de macro-invertébrés benthiques ont été échantillonnées dans les îlots et les stations témoins lors de chaque printemps de 2019 à 2023. Dans les stations témoins, des prélèvements au filet Surber\* (maille de 250  $\mu$ m) ont été réalisés à différentes profondeurs dans la zone littorale : deux à 0,5 m et un à 1 m de profondeur. Dans chacune des trois îlots, des substrats amovibles (deux à 0,5 m et un à 1 m de profondeur, de dimensions identiques au filet Surber), installés lors de la mise en place des structures, ont été retirés et leur contenu soigneusement conservé dans l'alcool. Au laboratoire, tous les échantillons ont été tamisés à 250  $\mu$ m et triés sous loupe binoculaire. Les organismes ont été déterminés au niveau taxonomique le plus précis possible, principalement au genre.

L'abondance et la richesse\* taxonomique (nombre de taxons recensés) ont été calculées pour chaque échantillon de chaque type de station. La Dreissène (*Dreissena polymorpha*), bivalve non indigène à croissance rapide, n'a pas été prise en compte dans les échantillons pour éviter d'avoir des abondances excessives qui masquent les autres espèces d'intérêt. Les métriques ont été comparées statistiquement entre les stations grâce à des tests non paramétriques de type Kruskal-Wallis (Salmon *et al.*, 2022).

Par ailleurs, les traits fonctionnels\* ont été recensés pour chacun des taxons échantillonnés (Usseglio-Polatera *et al.*, 2000) et comparés entre stations témoins et îlots.

### Résultats

Au printemps 2019, soit seulement huit mois après leur installation, l'abondance moyenne était déjà significativement plus importante dans les îlots que dans les stations témoins proches. Les années suivantes, elle tend à se stabiliser dans les îlots à environ 4 000 individus/m<sup>2</sup> mais reste significativement supérieure à celle des stations témoins (figure 1). C'est également le cas pour la richesse taxonomique qui est significativement supérieure dans les

îlots chaque année comparativement aux stations témoins (environ quatre fois supérieure). On observe également une augmentation de la richesse taxonomique moyenne dans les îlots au cours du temps avec environ sept taxons en 2019 contre dix en 2023 (figure 1).

Concernant les traits fonctionnels, les communautés des zones témoins et des îlots sont très différentes. Dans les stations témoins, les individus appartiennent à des taxons généralistes qui sont très mobiles, polluorésistants, à dispersion aérienne, plutôt inféodés à des substrats minéraux et qui supportent de fortes variations de température. À l'inverse, dans les îlots, les individus appartiennent à des taxons peu mobiles, polluo-sensibles, à dispersion aquatique active et plutôt inféodés à des environnements chauds et végétalisés de type étang. Il est important aussi de mentionner que la moule Quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) a été découverte en 2023 dans la retenue (Combrisson, 2023). Cette espèce a un développement encore plus rapide que sa cousine la moule zébrée. À ce jour, elle a déjà très largement colonisé la retenue ainsi que les îlots.

## Colonisation par les poissons

### Méthodologie

Les communautés de poissons ont été échantillonnées sur les îlots et sur les stations littorales témoins de même surface au printemps et en été de 2019 à 2022, avec des nasses pêchant la nuit et par observation visuelle directe par plongée en apnée le jour. La taille des poissons était mesurée (échantillonnage par nasses) ou estimée (échantillonnage en apnée), ce qui a permis d'estimer l'abondance des stades juvéniles et adultes de chaque espèce ainsi que leur richesse spécifique\*. Des modèles linéaires généralisés ont été utilisés pour expliquer richesse et abondance des différents stades en fonction du type de station (îlot/zone témoin), de l'année et de la saison. La comparaison des abondances entre îlots et zones témoins a été raffinée par espèce (Salmon *et al.*, 2025).

Une attention particulière a été portée au brochet, top prédateur emblématique de nos milieux aquatiques continentaux et espèce cible naturelle de ces îlots dans la mesure où il affecte les zones végétalisées, typiquement comme zone de fraie (Skov et Nilsson, 2018). L'échantillonnage visuel décrit ci-dessus a été étendu à l'année 2023. La comparaison des abondances de brochets échantillonnés de jour entre les deux types de station s'est faite sur l'ensemble de la période 2019-2023, par saison (printemps, été) et par année à l'aide de tests de Kruskal-Wallis (Salmon *et al.*, 2024).

## Résultats

### Toutes espèces

Huit espèces ont été recensées sur les îlots et dans les zones littorales témoins (tableau 1).

Leurs abondances diffèrent entre îlot et zone témoin, excepté pour les juvéniles en journée. Concernant la richesse spécifique\*, seule celle des juvéniles dépend du type de station, de jour comme de nuit, tout en étant légèrement supérieure dans les zones littorales témoins.

Globalement, les communautés des zones littorales témoins et des îlots apparaissent cependant très similaires. Les principales différences se trouvent la nuit, notamment avec une abondance plus importante en zones littorales pour les juvéniles de chevaine (*Squalius cephalus*), goujon (*Gobio gobio*) et perche (*Perca fluviatilis*) mais aussi pour les blennies (*Salaria fluviatilis*) adultes (tableau 1).

**Tableau 1** – Comparaison des abondances des différentes espèces de poissons entre îlots et zones littorales témoins. La comparaison est faite selon le stade de développement des poissons (adulte/juvénile) et le cycle jour/nuit ; le mode d'échantillonnage est rappelé entre parenthèses. Un signe +, respectivement -, signifie que l'abondance de l'espèce est plus élevée, respectivement plus faible, dans les îlots que dans les stations littorales témoins. Un signe = signifie qu'aucune différence n'a été relevée. Une case vide dans le tableau signifie que le stade correspondant de l'espèce en question n'a pas été échantillonné. Une x signifie que le stade correspondant est trop gros pour être capturé par les nasses.

		Jour (plongée)	Nuit (nasses)
Adultes	Ablette ( <i>Alburnus alburnus</i> )	=	
	Blennie fluviatile ( <i>Salaria fluviatilis</i> )	=	-
	Brochet ( <i>Esox lucius</i> )		x
	Chevaine ( <i>Squalius cephalus</i> )	=	x
	Gardon ( <i>Rutilus rutilus</i> )		=
	Goujon ( <i>Gobio gobio</i> )	=	=
	Perche commune ( <i>Perca fluviatilis</i> )	+	=
	Toxostome ( <i>Chondrostoma toxostoma</i> )		x
Juvéniles	Ablette	=	=
	Blennie fluviatile	=	=
	Brochet	=	=
	Chevaine	=	-
	Gardon	=	=
	Goujon	-	-
	Perche commune	=	-
	Toxostome	+	=

De jour, les îlots sont plutôt fréquentés par des perches adultes et des toxostomes (*Chondrostoma toxostoma*) juvéniles (tableau 1).

Il est à mentionner qu'aucune écrevisse américaine (*Faxonius limosus*) n'a été piégée ou vue sur les îlots, contrairement aux zones littorales témoins.

### Zoom sur le brochet (espèce cible du projet)

Sur l'ensemble de la période 2019-2023 ainsi que tous printemps confondus, l'abondance moyenne du brochet est plus élevée dans les îlots que dans les zones témoins distantes mais pas différente de celle des zones témoins proches des îlots. Chaque année prise individuellement, l'abondance n'est pas différente entre îlot et quelque zone témoin que ce soit, proche ou distante.

Lors de chacune des cinq années de suivi, de un à dix-huit brochets juvéniles ont été observés tous îlots confondus contre zéro à six toutes stations témoins comprises. Seuls quatre adultes ont été observés lors de ces échantillonnages, équitablement répartis entre îlots et zones témoins.

Les plus petits individus observés sur les îlots possédaient encore un sac vitellin et mesuraient environ 15 mm (photo 2). Une large gamme de juvéniles allant de très petits stades avec sac vitellin jusqu'à des brochetons d'environ 15 cm ont été observés sur les îlots (Salmon *et al.*, 2024).

## Conclusions - Perspectives

L'hétérogénéité des habitats offerts par les îlots (différents types de substrats, racines de plantes héliophytes, herbiers de plantes aquatiques) ainsi que leur disponibilité permanente ont favorisé la colonisation par les macro-invertébrés. Une communauté de macro-invertébrés très différente des points de vue taxonomique et fonctionnel de celle qui supporte les fortes contraintes des zones littorales soumises au marnage s'y est rapidement et durablement installée. Alors que les zones littorales accueillent des taxons généralistes, les îlots accueillent des taxons peu mobiles et polluo-sensibles, certains étant présents sur le bassin versant en amont ou en aval de la retenue de Serre-Ponçon.

Contrairement à ce qui a été observé pour les macro-invertébrés, la communauté piscicole des îlots est relativement peu différente de celle des zones littorales et, quand différence il y a, c'est le plus souvent avec des abondances plus fortes dans les zones littorales. Un zoom sur le brochet, espèce phytophile par excellence et cible naturelle des radeaux, montre tout de même un signal qui va dans le sens des hypothèses de départ du projet, à savoir que les îlots semblent un peu plus attirer les espèces phytophiles. Certaines espèces de poissons restent plus abondantes dans les zones littorales probablement car elles sont benthiques, comme la blennie ou le goujon, et préfèrent les fins substrats des zones littorales plutôt que les substrats plus grossiers tapissant le fond des îlots. Par ailleurs, atteindre les îlots nécessite de nager en pleine eau (profondeur supérieure à 30 m), ce qui peut limiter la colonisation par certaines espèces. La complexité des habitats et la végétation en particulier expliquent fort probablement les résultats encourageants obtenus sur le brochet, pour lequel, même si des pontes n'ont pas été répertoriées, une large gamme

de stades juvéniles avec notamment des individus très petits jusqu'à des stades adultes ont été observés. La plus forte abondance de cette espèce sur les îlots et les zones témoins proches, relativement aux zones témoins éloignées, pourrait correspondre à un rayon d'influence de l'îlot au-delà de son seul périmètre à l'échelle d'une baie.

Même si les îlots ont été colonisés par une communauté de poissons s'approchant de celle des zones littorales, l'abondance moindre de juvéniles autres que les brochets n'était pas un résultat attendu. Les emplacements des îlots, distants d'une cinquantaine de mètres des berges et dans des zones de profondeur d'environ 30 m, ont pu être limitantes. En effet, dans d'autres études ayant montré un relatif bénéfice de structures apparentées, celles-ci étaient toutes situées dans des zones de faible profondeur dans la zone littorale (par exemple Baumann *et al.*, 2016; de Moraes *et al.*, 2023). La surface relativement limitée de l'îlot peut aussi jouer, notamment pour des espèces comme le brochet dont les frayères ont des surfaces bien plus importantes. Cependant, de telles surfaces, même petites, peuvent jouer un rôle important dans la continuité écologique à l'échelle du bassin versant en faisant office de corridor, comme on a pu l'apercevoir sur les macro-invertébrés. Au-delà de leurs bénéfices pour les communautés animales, il est à noter que l'apport paysager de ces îlots dans des milieux fortement anthropisés est un point attractif pour de nombreux gestionnaires. Ils florissent d'ailleurs en milieu urbain.

Bien que la biodiversité amphibie et terrestre n'ait pas fait l'objet d'un échantillonnage scientifique, elle a été minutieusement répertoriée à chaque campagne de terrain. De nombreuses pontes d'oiseaux ont été recensées chaque année, avec au total plus de quarante œufs pondus par trois espèces (Goéland argenté, Bergeronnette grise, Canard colvert). Le crapaud commun, aux stades de têtard et d'adulte, a été observé au sein des îlots ainsi que ses pontes dans les racines d'hélophytes. Au sein de la végétation terrestre, un lézard ainsi qu'araignées, abeilles et autres insectes ont également été observés. L'ensemble de ces observations souligne l'intérêt écologique de cette partie terrestre.

Par ailleurs, les suivis écologiques réalisés sur plusieurs années ont montré que l'architecture de tels dispositifs, inspirée du biomimétisme et utilisant des matériaux vivants, évolue constamment avec le développement de la végétation. La structure des habitats offerts par les différents étages végétalisés n'est finalement proche du design imaginé initialement qu'au bout de quelques années. Ce constat est fréquent dans les opérations de restauration écologique plus classiques et souligne le besoin de suivis scientifiques sur le long terme pour apprécier réellement l'ensemble des potentialités offertes par ce type d'îlots flottants. En outre, riches des enseigne-

**Photo 2** – Alevin de brochet d'environ 15 mm dont le sac vitellin n'est pas totalement résorbé. Photographie prise dans un îlot flottant en mai 2020 (© Pôle ECLA-Ecocean).



ments de ce projet, de nouveaux prototypes plus grands, plus fonctionnels, plus esthétiques et bannissant l'utilisation de plastique pour les flotteurs, ont été imaginés et pourraient être testés prochainement. Enfin, dans la continuité du projet UROS, le Pôle R&D ECLA (Pôle Recherche & Développement Écosystèmes Lacustres)<sup>1</sup> étend l'analyse des bénéfices de ce type de structures pour la biodiversité dans de plus petits écosystèmes anthropisés et également soumis à un marnage important, tels que les retenues d'altitude. ■

1. <https://poleecla.fr>

#### Encadré 1 – Glossaire

**Hélophyte** : plante semi-aquatique dont les racines se développent dans une terre gorgée d'eau voire dans l'eau.

**Hydrophyte** : plante aquatique.

**Marnage** : variations du niveau d'eau.

**Phytophile** : qui dépose ses œufs sur de la végétation immergée.

**Prélèvement au filet Surber** : il s'agit de déposer un filet au fond de l'eau et de récupérer tout le substrat qui se trouve délimité par un cadre en avant du filet.

**Richesse spécifique** : nombre d'espèces différentes échantillonnées. L'espèce est le rang le plus fin d'identification ; il peut être compliqué d'atteindre ce rang et la détermination peut s'arrêter avant : on parle alors de richesse taxonomique.

**Station** : zone sur laquelle est réalisé l'échantillonnage, c'est-à-dire un prélèvement physico-chimique ou biologique. Les stations sont ici soit une portion continue de la zone littorale du lac, soit un îlot.

**Traits fonctionnels** : caractéristiques de la biologie et de l'écologie d'un taxon (morphologie, phénologie, ressource alimentaire, affinité à des paramètres d'habitat, mode de locomotion, mode de reproduction...).

#### Encadré 2 – En savoir plus

Manuscrit de thèse : <https://theses.fr/2022AIXM0205>

Vidéos :

<https://www.ofb.gouv.fr/actualites/des-structures-flottantes-pour-soutenir-la-biodiversite-dans-les-zones-littorales>

<https://youtu.be/oG8cubuSDas?feature=shared>

[https://www.youtube.com/watch?v=Qgw6HuQft\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=Qgw6HuQft_g)

## REMERCIEMENTS

Ce projet a été soutenu par l'Office français de la biodiversité (OFB), l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), la société ECOCEAN et l'Agence nationale pour la recherche et la technologie (ANRT). Les auteurs remercient particulièrement le SMADESEP, Syndicat mixte d'aménagement et de développement du lac de Serre-Ponçon, pour avoir accueilli très favorablement ce projet et pour son excellente collaboration. Merci au Conservatoire botanique national alpin (CBNA) pour son aide dans la mise en place des structures.

Les auteurs remercient chaleureusement toute l'équipe du service départemental OFB 05 et toutes les personnes, très nombreuses, qui ont apporté leur aide précieuse tout au long du projet, que ce soit lors des échantillonnages de terrain ou au laboratoire

Enfin, un grand merci aux structures locales pour leur enthousiasme dans le projet : Commission de Serre-Ponçon, EDF, Fédérations de pêche des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence, directions départementales des Territoires des Hautes-Alpes et des Alpes-de-Haute-Provence.

## RÉFÉRENCES

- Baumann, J. R., Oakley, N. C., & McRae, B. J. (2016). Evaluating the Effectiveness of Artificial Fish Habitat Designs in Turbid Reservoirs Using Sonar Imagery. *North American Journal of Fisheries Management*, 36(6), 1437-1444. <https://doi.org/10.1080/02755947.2016.1227401>
- Collen, B., Whitton, F., Dyer, E. E., Baillie, J. E. M., Cumberlidge, N., Darwall, W. R. T., Pollock, C., Richman, N. I., Soulsby, A., & Böhm, M. (2014). Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. *Global Ecology and Biogeography*, 23(1), 40-51. <https://doi.org/10.1111/geb.12096>
- Combrisson, D. (2023). Colonisation de la Moule quagga *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897 (Mollusca, Bivalvia, Myida) sur le lac de Serre-Ponçon (Hautes-Alpes & Alpes-de-Haute-Provence). Colonization of the quagga mussel *Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897 (Mollusca, Bivalvia, Myida) on the lake of Serre-Ponçon (Hautes-Alpes & Alpes-de-Haute-Provence). *MalaCo*, 19, 5-9.
- Daupagne, L., Rolan-Meynard, M., Logez, M., & Argillier, C. (2021). Effects of fish stocking and fishing pressure on fish community structures in French lakes. *Fisheries Management and Ecology*, 28(4), 317-327. <https://doi.org/10.1111/fme.12476>
- De Moraes, K. R., Souza, A. T., Muška, M., Hladík, M., Čtvrtlíková, M., Drašík, V., Kolařík, T., Kučerová, A., Krolová, M., Sajdlová, Z., Šmejkal, M., & Kubečka, J. (2023). Artificial floating islands: a promising tool to support juvenile fish in lacustrine systems. *Hydrobiologia*, 850(9), 1969-1984. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05204-8>
- Evtimova, V. V., & Donohue, I. (2016). Water-level fluctuations regulate the structure and functioning of natural lakes. *Freshwater Biology*, 61(2), 251-264. <https://doi.org/10.1111/fwb.12699>
- Fraissé, T. (1999). *Protection et végétalisation des zones de marnage des plans d'eau, guide méthodologique*. Les études des agences de l'Eau (66).
- Gilbert, P., & Tissot, L. (2016). *Étude des solutions pour pallier l'influence du marnage des retenues sur les poissons*.
- Halleraker, J., van de Bund, W., Bussettini, M., Gosling, R., Döbelt-Grüne, S., Hensman, J., Kling, J., Koller-Kreimel, V., Pollard, P. (2016). *Working Group ECOSTAT report on Common understanding of using mitigation measures for reaching Good Ecological Potential for heavily modified water bodies. Part 1: Impacted by Water Storage*. Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC103830>
- Hirsch, P. E., Eloranta, A. P., Amundsen, P., Brabrand, Å., Charmasson, J., Helland, I. P., Power, M., Sánchez-Hernández, J., Sandlund, O. T., Sauterleute, J. F., Skoglund, S., Ugedal, O., & Yang, H. (2017). Effects of water level regulation in alpine hydropower reservoirs: an ecosystem perspective with a special emphasis on fish. *Hydrobiologia*, 794(1), 287-301. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3105-7>
- Huang, X. F., Zhao, F., Song, C., Gao, Y., Geng, Z., & Zhuang, P. (2017). Effects of stereoscopic artificial floating wetlands on nekton abundance and biomass in the Yangtze Estuary. *Chemosphere*, 183, 510-518. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.091>
- Kaczka, L. J., & Miranda, L. E. (2014). Size of age-0 crappies (*Pomoxis* spp.) relative to reservoir habitats and water levels. *Journal of Freshwater Ecology*, 29(4), 525-534. <https://doi.org/10.1080/02705060.2014.923791>
- Salmon, Q., Colas, F., Westrelin, S., Dublon, J., & Baudoin, J. M. (2022). Floating Littoral Zone (FLOLIZ): a solution to sustain macroinvertebrate communities in regulated lakes? *Ecological Engineering*, 176, 106509. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106509>
- Salmon, Q., Westrelin, S., Dublon, J., Abadie, E., & Baudoin, J. M. (2024). Artificial floating littoral zones: a promising nursery to support Pike (*Esox lucius*) in reservoirs. *International Journal of Limnology*, 60, 22. <https://doi.org/10.1051/limn/2024022>
- Salmon, Q., Westrelin, S., Dublon, J., Fonbonne, S., & Baudoin, J. M. (2025). An evaluation of artificial floating littoral zones to support fish communities in reservoirs. *Knowledge And Management Of Aquatic Ecosystems*, 426, 3. <https://doi.org/10.1051/kmae/2024025>
- Skov, C., & Nilsson, P. A. (2018). *Biology and ecology of pike*. CRC Press.
- Strayer, D. L., & Findlay, S. E. (2010). Ecology of freshwater shore zones. *Aquatic Sciences*, 72(2), 127-163. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0128-9>
- Tibblin, P., Bergström, K., Flink, H., Hall, M., Berggren, H., Nordahl, O., & Larsson, P. (2023). Higher abundance of adult pike in Baltic Sea coastal areas adjacent to restored wetlands compared to reference bays. *Hydrobiologia*, 850(9), 2049-2060. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05216-4>
- Usseglio-Polatera, P., Bournaud, M., Richoux, P., & Tachet, H. (2000). Biological and ecological traits of benthic freshwater macroinvertebrates: relationships and definition of groups with similar traits. *Freshwater Biology*, 43(2), 175-205. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00535.x>
- White, M. S., Xenopoulos, M. A., Metcalfe, R. A., & Somers, K. M. (2011). Water level thresholds of benthic macroinvertebrate richness, structure, and function of boreal lake stony littoral habitats. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(10), 1695-1704. <https://doi.org/10.1139/f2011-094>
- Yeh, N., Yeh, P., & Chang, Y. H. (2015). Artificial floating islands for environmental improvement. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 47, 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.090>
- Zarfl, C., Lumsdon, A. E., Berlekamp, J., Tydecks, L., & Tockner, K. (2015). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77(1), 161-170. <https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0>