

## **DEMETHER, un modèle numérique pour l'aide à la gestion de la végétation aquatique**

DEMETHER, a numerical model and a management support tool of aquatic vegetation

Stephanie Courty<sup>1</sup>, Diane Espel<sup>1,3</sup>, Olivier Boutron<sup>2</sup>, Arnaud Elger<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Adict Solutions - ENSAT - Avenue de l'Agrobiopole - Auzeville-Tolosane 31320 Castanet-Tolosan - France (auteur correspondant : [stephanie.courty@adict-solutions.eu](mailto:stephanie.courty@adict-solutions.eu))

<sup>2</sup>Tour du Valat, Institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes - Le Sambuc - 13200 Arles - France

<sup>3</sup>Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement - Université Toulouse III – Paul-Sabatier - ENSAT - Avenue de l'Agrobiopole - Auzeville-Tolosane 31320 Castanet-Tolosan - France

### **RÉSUMÉ**

Comprendre le rôle des mécanismes et des facteurs responsables du développement des herbiers de macrophytes et anticiper leurs réponses à différentes contraintes environnementales (météorologiques, physico-chimiques, hydromorphologiques) sont des enjeux majeurs, particulièrement dans un contexte de changements globaux, où les phénomènes de proliférations estivales posent de plus en plus de problèmes aux usagers et gestionnaires. Nous présenterons un modèle numérique de végétation aquatique submergée, développé dans le cadre du projet DEMETHER. Le modèle inclut un ensemble de processus biologiques et physiques fondamentaux, et permet de calculer les évolutions spatio-temporelles de plusieurs espèces de macrophytes en interaction, grâce à des données écophysiologiques mesurées en laboratoire. Nous discuterons des résultats obtenus dans le cadre de différents scénarios, ainsi que des applications de ce modèle comme outil d'aide à la gestion de la végétation aquatique (anticipation de l'évolution d'espèces invasives ou patrimoniales, optimisation de modes opératoires de gestion, réintroduction d'espèces, etc.).

### **ABSTRACT**

Understanding the role of the mechanisms and factors responsible for the development of macrophyte meadows and anticipating their responses to various environmental constraints (meteorological, physico-chemical, hydromorphological) are major issues, particularly in a context of global changes, where summer proliferation causes more and more problems for users and managers. We will present a numerical model of submerged aquatic vegetation, developed as part of the DEMETHER project. The model includes fundamental biological and physical processes and computes the spatial and temporal evolutions of several species of interacting macrophytes, thanks to ecophysiological data measured in the laboratory. We will discuss the results obtained for different scenarios, as well as the applications of this model as a management support tool of aquatic vegetation (anticipation of the evolution of invasive or heritage species, optimization of management operations, reintroduction of species, etc.).

### **MOTS CLES**

Macrophytes, végétation aquatique, herbiers, modélisation, outil d'aide à la gestion.

## 1 INTRODUCTION

Il existe à l'heure actuelle peu d'outils de gestion de la végétation aquatique capable à la fois de comprendre le développement des herbiers de macrophytes et d'anticiper leur devenir. Bien que les herbiers soient des composantes essentielles à la qualité des milieux aquatiques, des déséquilibres de plus en plus préoccupants apparaissent, entraînant des régressions d'espèces ou au contraire des proliférations. Déclin ou disparition d'espèces patrimoniales, invasions biologiques, proliférations estivales, gêne pour les activités récréatives, nuisances olfactives, dégradation de la qualité de l'eau, conflits d'usage, entrave à la navigation, colmatage des prises d'eau industrielles, sont autant d'enjeux auxquels font face les organismes chargés de la gestion des écosystèmes aquatiques ou de la fourniture de services économiques et industriels. Ces enjeux devenant d'autant plus prégnants que les changements globaux modifient rapidement l'environnement des herbiers (phénomènes extrêmes tels que des crues, augmentation des températures, etc.).

Il est donc essentiel de disposer d'outils permettant de mieux comprendre les évolutions des herbiers de macrophytes, d'anticiper leurs évolutions, et de simuler leurs réponses dans le cadre de scénarios climatiques ou de choix de gestion afin de proposer des actions pertinentes et adaptées. La simulation numérique est un outil privilégié pour aider à répondre à ces problématiques et le projet DEMETHER a consisté à développer un modèle de dynamique de la végétation aquatique submergée. Ce projet a associé la société de R&D Adict Solutions, l'expertise des membres du laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement de l'université de Toulouse, et le financement partiel de l'Agence de l'eau Adour-Garonne.

## 2 L'OUTIL NUMERIQUE

L'outil présente les caractéristiques suivantes : i) modélisation des principaux mécanismes physiques et biologiques impliqués dans le développement des herbiers de macrophytes et capacité à explorer l'influence de facteurs ou de processus particuliers ; ii) prise en compte de la variabilité spatio-temporelle de facteurs essentiels tels que la vitesse du courant, la hauteur d'eau, la température, grâce à un couplage *a posteriori* avec des simulations hydrodynamiques ; iii) adaptation aux espèces de macrophytes dont on cherche à anticiper le développement, grâce à des mesures en laboratoire des capacités écophysologiques des espèces ; iv) prise en compte des interactions entre espèces. Le modèle dépend de plusieurs facteurs directs, locaux ou non : la hauteur d'eau, la température, la nature du substrat, la vitesse du courant, la hauteur effective de la plante (une fois la flexion due au courant prise en compte), l'intensité lumineuse qui arrive au niveau de la plante, la concentration de matières en suspension, et de manière optionnelle la concentration en nutriments.

Le modèle a été développé sur un linéaire de la Garonne moyenne, d'un kilomètre de long environ, et testé pour 2 espèces submergées en interaction, *Myriophyllum spicatum* et *Ranunculus fluitans*. Des mesures *in situ* ainsi que la photo-interprétation d'une orthomosaïque drone de l'ensemble du site ont permis d'assurer le paramétrage et le calibrage du modèle. Cette étape peut aussi être assurée au moyen d'une méthode de cartographie automatique du recouvrement, développée au cours du projet, à partir d'une image satellite Pléiades et à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique.

La distribution spatio-temporelle de la biomasse de chaque espèce et de la biomasse totale a été calculée pour les conditions hydro-météorologiques de 2017 à une résolution spatiale de 5 m (simulation de référence). Confronté à des observations, le modèle a révélé sa capacité à reproduire raisonnablement bien la dynamique de la biomasse totale à l'échelle du site (Fig 1. à gauche) et les pics de biomasse attendus à différentes époques suivant les espèces (Fig 1. à droite), en accord avec leur écophysologie. Il a également montré l'importance de tenir compte des interactions entre espèces : en effet, le myriophylle en épis présente un comportement différent selon qu'il interagît avec une espèce comme la renoncule flottante qui possède la capacité de se développer plus tôt dans la saison (de par sa préférence pour les faibles températures).

## 3 SCENARIOS ET CAS D'APPLICATION

La simulation de référence a ensuite été comparée à des simulations obtenues dans le cadre de trois scénarios. Deux scénarios étaient en lien avec le changement climatique : l'un modifiant la température de l'eau de manière à reproduire les températures attendues à un horizon moyen (années 2040-2070), et le second modifiant la période d'été (précoce ou tardif). Il a été montré que, dans le premier scénario, l'augmentation de la température estivale n'entraînait pas forcément une augmentation de la croissance des macrophytes, et que dans le second, la période d'été modifiait

la biomasse totale sur le site et décalait le pic de biomasse. Enfin, le troisième scénario a consisté à évaluer qualitativement les effets d'une perturbation sur le développement des herbiers ; cette dernière étant analogue à un épisode de crue printanière par exemple, ou à une opération de gestion telle que l'arrachage d'herbiers. Le modèle a permis de mettre en évidence des modifications à l'intérieur des communautés d'espèces l'année suivant la perturbation.

A ces trois scénarios, et de manière générale, plusieurs utilisations de cet outil numérique peuvent être envisagées dans le cadre de problématiques de régression ou de prolifération d'espèces. Son caractère exploratoire permet de mieux comprendre des effets observés sur le terrain ainsi que le rôle de facteurs ou de mécanismes traduisant des changements environnementaux. Les questions auxquelles l'outil peut répondre regroupent l'anticipation de l'évolution d'espèces patrimoniales ou invasives à l'échelle d'un site, l'identification de zones potentielles de développement excessif ou de régression, l'analyse de modifications à l'intérieur de communautés d'espèces, l'évaluation du risque de colmatage de grilles d'entrée de prise d'eau. L'outil peut aussi apporter une contribution dans le cadre de la gestion des macrophytes : identification de secteurs d'intervention prioritaire, évaluation de la réussite de mesures de réintroduction d'espèces ou définition/optimisation de mesures de gestion (en effet, l'outil peut rechercher les zones, périodes et fréquences les plus propices aux interventions de gestion).

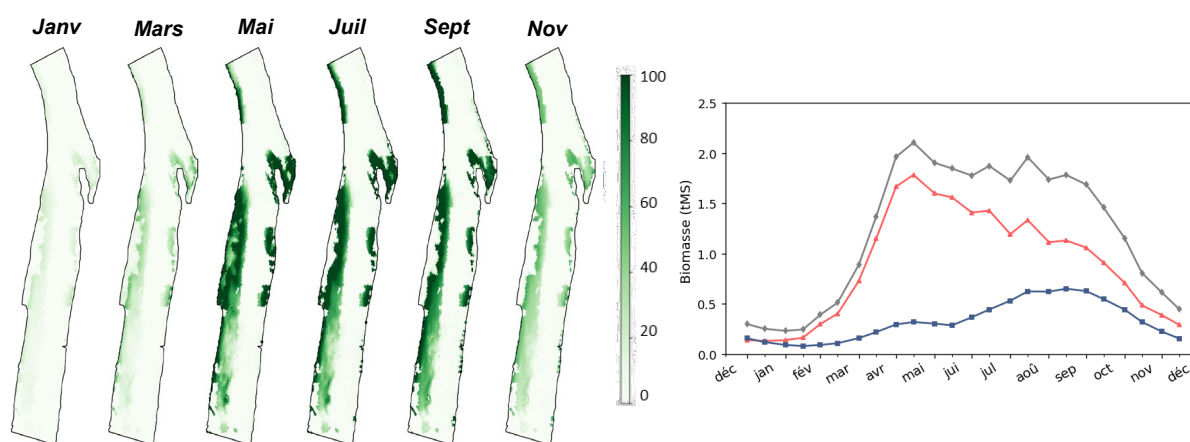


Fig. 1 : à gauche : évolution spatio-temporelle annuelle de la densité de biomasse totale sur le site d'étude. A droite : évolution temporelle à l'échelle du site des biomasses totale (en noir) et spécifiques (*Ranunculus fluitans* en rouge et *Myriophyllum spicatum* en bleu).

#### 4 CONCLUSIONS

Le modèle DEMETHER peut s'appliquer à tous types d'hydrosystèmes (petits et grands cours d'eau, canaux, plans d'eau, lagunes et milieux côtiers), et calcule la dynamique spatio-temporelle d'une ou plusieurs espèces, submergées ou semi-émergentes (telles que des jussies), en réponse à différents scénarios variant par leurs conditions environnementales (météorologiques, hydro-morphologiques, ou physico-chimiques). La mise en œuvre du modèle requiert un nombre limité d'informations : la bathymétrie du site et éventuellement la nature du substrat, des données météorologiques représentatives de l'hydrosystème, des données hydrologiques simulées (selon le milieu), des données ponctuelles de terrain de recouvrement et de biomasse, ainsi que des données expérimentales des capacités photosynthétiques des espèces (acquises en laboratoire ou déjà renseignés dans la banque de données du projet DEMETHER).

Son association avec des mesures *in situ*, des méthodes de photo-interprétation ou de cartographie automatique du recouvrement (basées sur des images drone ou satellite), ainsi que des mesures en laboratoire, permet à l'outil numérique d'être adapté puis appliqué sur tout hydrosystème présentant les mêmes espèces. C'est un outil d'exploration, d'anticipation et d'optimisation de mesures de gestion, dont le premier but est d'aider les acteurs confrontés à des problématiques de conservation ou de proliférations d'espèces.

**Remerciements :** le projet a été soutenu financièrement par l'Agence de l'eau Adour-Garonne ainsi qu'au travers d'une convention CIFRE avec l'Association nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT) qui a permis l'obtention du doctorat de l'un des co-auteurs.