

## Intérêts et exigences d'une surveillance à long terme des macrophytes sur les grandes rivières françaises

### The benefits and requirements of long-term macrophyte monitoring on major French rivers.

François LAUTERS<sup>1</sup>, Sophie MEUNIER<sup>1</sup>, Nina RICHARD<sup>2</sup>, Mikaël TREGUIER<sup>3</sup> et Matthieu BLANCHARD<sup>3</sup>

<sup>1</sup> EDF – DTG, Service Études Eau et Environnement, 134 chemin de l'Étang, 38950 Saint-Martin-le-Vinoux

<sup>2</sup> Université de Tours – Elmis Ingénieries, 11 quai Danton 37500 Chinon

<sup>3</sup> AQUASCOP Biologie, 1 avenue Bois l'Abbé 49070 Beaucouze

#### RÉSUMÉ

Depuis 12 ans, EDF-DTG collecte des données sur les macrophytes sur cinq grandes rivières françaises et au niveau de ses CNPE (Centre Nucléaire de Production d'Électricité). Un protocole est appliqué pour dresser les inventaires de macrophytes, données complétées par des mesures de paramètres physico-chimiques du milieu. Cette base de données constitue une véritable richesse pour étudier les impacts des pressions d'origines anthropiques ou climatiques sur la structure et l'évolution des communautés de macrophytes. Aujourd'hui, le développement de l'Intelligence Artificielle (IA) et la facilité d'accès à de nouvelles données d'imageries satellitaires, apportent des informations complémentaires et constituent un potentiel de développement pour suivre l'évolution spatiale et temporelle des macrophytes. Grâce à ces données et à de nouveaux outils, des études ont pu être menées montrant que la température de l'eau et les variations de débit des rivières sont les facteurs prépondérants influençant le développement des macrophytes. Concernant le changement climatique, des tendances d'évolutions se dessinent avec des conditions favorables à la croissance et à l'arrachage des végétaux ainsi qu'une évolution dans la saisonnalité et de la composition des communautés de macrophytes. Ces études montrent l'intérêt de poursuivre la collecte de ces données à long terme pour confirmer les tendances mises en évidence sur l'évolution des communautés de macrophytes et améliorer la connaissance et la surveillance de l'environnement aux abords des CNPE, participant ainsi à la sûreté de leur exploitation.

#### ABSTRACT

For 12 years, EDF-DTG has been collecting data on macrophytes in five large French rivers and at nuclear power plant. A protocol is used to draw up macrophyte inventories, supplemented by measurements of the environment's physico-chemical parameters. This database is an invaluable tool for studying the impact of anthropogenic and climatic pressures on the structure and evolution of macrophyte communities. Today, the development of Artificial Intelligence (AI) and the ease of access to new satellite imagery data, provide additional information and offer development potential for monitoring the spatial and temporal evolution of macrophytes. Using these data and new tools, studies have been carried out showing that water temperature and variations in river flow are the main factors influencing macrophyte development. Regarding climate change, evolutionary trends are emerging, with favorable conditions for plant growth and uprooting, as well as changes in the seasonality and composition of macrophyte communities. These studies highlight the importance of continuing to collect long-term data to confirm trends in macrophyte communities and improve knowledge and monitoring of the environment around nuclear power plants, thereby contributing to their safe operation.

#### MOTS CLÉS

Changements globaux, intelligence artificielle, image satellitaire, macrophytes, paramètres environnementaux. Artificial intelligence, environmental parameters, global change, macrophytes, satellite imagery.

# 1 PLUS DE 10 ANS DE SUIVI DES MACROPHYTES SUR 5 GRANDES RIVIERES FRANÇAISES

## 1.1 Protocole de surveillance des macrophytes

Depuis 2012, EDF a mis en place avec ses partenaires spécialisés en hydrobiologie que sont l'Université de Tours et Aquascop Biologie, un protocole de suivi des macrophytes sur cinq grandes rivières françaises que sont le Rhône, la Moselle, la Garonne, la Loire et la Vienne.

Le protocole des relevés terrains est issu de la démarche IBMR « Grands cours d'eau » (Indice Biologique des Macrophytes en Rivière). Il a ici pour objectif, non pas à évaluer le niveau trophique du cours d'eau mais de dresser à un inventaire des espèces majoritaires et de calculer les biomasses et les surfaces de recouvrement. Ainsi, le taux de recouvrement de chaque taxon est réalisé à l'aide de la méthode par « points-contact » positionnés sur des transects et le calcul de biomasse est fait à partir de placettes (quadra de 1 m<sup>2</sup>).

La surveillance des macrophytes est également réalisée sur un plus grand linéaire de rivière à l'aide d'images aériennes haute définition prises depuis un avion, et ce, à une fréquence de deux fois par an durant la période végétative. Ces données permettent d'estimer la surface de recouvrement et la biomasse des macrophytes sur un tronçon d'une vingtaine de kilomètres. Relevés terrains et prises de vues aériennes permettent ainsi de cartographier les herbiers et d'appréhender leurs évolutions spatiales et temporelles à large échelle.

Cette surveillance des macrophytes est aussi faite de façon ponctuelle et en temps réel à l'aide de caméras implantées au bord des cours d'eau au niveau des sites d'intérêt où le développement de macrophytes est important.



Figure 1 : Photographies illustrant le protocole de suivi des macrophytes : méthode du « point-contact » (en haut à gauche), placette (en bas à gauche) et données cartographiques des points de prélèvements et surface des herbiers – source Aquascop.

## 1.2 D'autres données pour mieux comprendre

Dans le cadre de la connaissance et de la surveillance du milieu aux abords des CNPE, EDF-DTG dispose de mesures hydrologiques (débit, hauteur d'eau, etc.) et physico-chimiques (température de l'eau, oxygène dissous, etc.), stockées dans sa base de données. Ces informations, collectées à pas de temps régulier et à proximité des secteurs d'étude, sont un atout pour étudier les corrélations entre le développement des macrophytes et quelques paramètres physico-chimiques du milieu. Bien que ces données soient abondantes, elles ne sont pas exhaustives et d'autres paramètres influençant le développement des macrophytes ou permettant de mesurer les impacts des activités anthropiques, seraient également intéressantes à collecter au plus près des herbiers et à des fréquences plus rapprochées.

## 1.3 Intérêts et exigences de la bancarisation des données

Depuis la mise en place de la surveillance des macrophytes, avec environ deux suivis par an sur différents points de la rivière, et ce, pour chacun des cinq cours d'eau étudiés, la base de données comporte environ 360 suivis macrophytiques et une centaine d'images aériennes.

L'enjeu d'une base de données est d'en garantir l'homogénéité, la continuité et la pérennité des informations qui y sont déposées. Pour cela, nous veillons à :

- Conserver les mêmes lieux de relevés des macrophytes en rivière, sauf ensablement ou toute autre évolution notable du site d'étude ou de son accès.
- Appliquer le même protocole pour les différents cours d'eau. Toute évolution de protocole ou de méthode de calcul des données est clairement identifiée.
- Utilisation d'une base de données pour garantir l'homogénéité des dénominations biologiques, physico-chimiques, météorologiques et géographiques. Elle permet également d'être mise à disposition de l'ensemble des entités du groupe EDF travaillant sur les études environnementales (R&D, bureaux d'études internes, etc.).

## 2 AMELIORER LA SURVEILLANCE DE L'EVOLUTION SPATIALE ET TEMPORELLE A LARGE ECHELLE GRACE AUX IMAGES SATELLITAIRES ET A LA TELEDETECTION PAR L'IA

L'acquisition d'images aériennes via des survols de la zone par un avion équipé d'une caméra HD, ne permet pas d'avoir des informations suffisantes pour estimer la dynamique de développement des herbiers. Les vols ne sont réalisés que deux fois par an, en début et en fin de période végétative. Le recours à des données satellitaires a donc été envisagé afin d'avoir un suivi plus régulier, sur des périmètres plus importants et à faible coût.

Les données satellitaires sont de plus en plus utilisées pour l'observation et l'analyse spatiale de l'environnement. Le développement de nombreux capteurs THR (Très Haute Résolution) ouvre de nouvelles possibilités en termes de télédétection satellitaire. Ces données spatialisées permettent de s'affranchir du problème d'échelle entre les variables (spatialisées) et leurs mesures (ponctuelles). Certaines limites existent néanmoins en imagerie optique par exemple, les observations par satellite ne sont pas possibles s'il y a une couverture nuageuse. De plus, les résolutions spatiales et temporelles peuvent parfois être insuffisantes. Les images des satellites PLEIADE répondent aux caractéristiques recherchées pour la surveillance des macrophytes (résolution, bandes spectrales, disponibilité, etc.). Des tests ont déjà été réalisés et l'acquisition d'images satellites est prévue à partir de 2025.

L'augmentation du nombre d'images satellitaires afin d'améliorer le suivi spatio-temporel des herbiers, nous pousse aussi à réfléchir à de nouveaux outils pour traiter ces images, voire prédire leurs possibles évolutions. Actuellement, la délimitation de la surface des macrophytes est réalisée manuellement ce qui est un travail chronophage. Le développement de la télédétection des végétaux à l'aide d'un modèle basé sur l'IA est aujourd'hui en cours de test. Notre base de données d'ortho photos comportant plus d'une centaine de campagnes d'acquisition d'images, elle est suffisamment riche pour le développement d'un modèle. Les images sont pré traitées et découpées en imagerie (~11 000 imagerie au total) selon le protocole décrit ci-dessous.

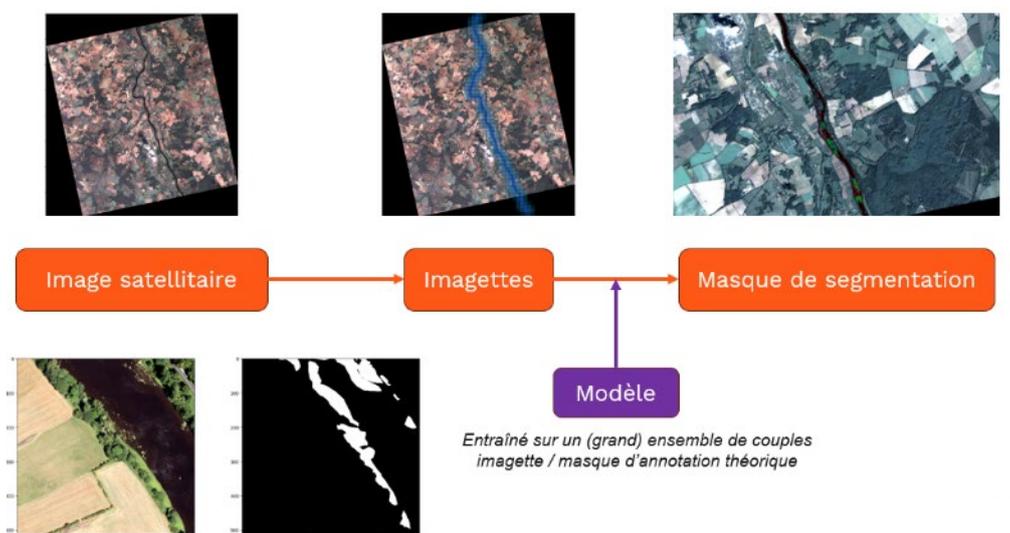


Figure 2 : Schéma de la démarche de pré-traitement des images et d'entraînement du modèle – source EDF

Cette base de travail permet de constituer trois jeux d'image nécessaire à la construction du modèle : un ensemble d'apprentissage servant à optimiser les paramètres du modèle, un ensemble de validation servant à monitorer les performances de généralisation du modèle au cours de l'apprentissage et un ensemble de test permettant l'évaluation finale des performances une fois l'entraînement terminé. Les premiers résultats sont en cours de validation et des pistes d'améliorations sont encore envisagées pour augmenter la précision de la

détection (ex : un modèle spécifique par cours d'eau ou par site, amélioration de la qualité des données d'entrées du modèle).



Figure 3 : Résultat de la prédiction du modèle IA en cours de test sur le Rhône : image satellitaire PLEIADE (à gauche) et délimitation des surfaces de macrophytes prédites par le modèle entraîné, avec ici un seuil de probabilité de présence de macrophytes fixé à 95% (à droite) – source EDF

### 3 L'INTERET DES SUIVIS A LONG TERME

#### 3.1 Évolutions temporelles et spatiales des macrophytes en lien avec les paramètres environnementaux

L'évolution et la structure des herbiers de macrophytes sont influencées par des facteurs environnementaux (débit, température, lumière, etc.) et/ou par des pressions d'origine anthropique (industrie, agriculture, changement climatique, ouvrages hydrauliques, etc.). Par conséquent, afin de mieux comprendre leur dynamique spatiale et temporelle, EDF-DTG a décidé de croiser ces suivis de végétaux avec les données physico-chimiques disponibles sur 4 rivières (Rhône, Garonne, Loire et Vienne) pour comprendre l'évolution spatio-temporelle des macrophytes et déterminer les paramètres environnementaux influençant leur développement.

Les études des données ont montré que des indicateurs biologiques de dynamique des herbiers pouvaient s'expliquer essentiellement par la température cumulée de l'eau entre janvier et juin et par le comptage des pics de débits ou le nombre de fois où les débits sont faibles sur la même période. Il a aussi été démontré que l'accumulation de pics de débits forts et soudains (crues), qu'ils soient hivernaux ou printaniers, impacte négativement le développement des végétaux aquatiques, car ces crues engendrent leur arrachage, généralement durant la période de senescence et limite leur capacité de résilience au printemps suivant.

Il semblerait donc pertinent de construire des modèles simples reliant la quantité attendue et ces deux paramètres. Selon les lieux d'étude, les modèles seraient plus ou moins complexes en fonction des régressions, mais il serait possible de prévoir une quantité. De plus, la corrélation entre la surface et la quantité de macrophytes a été démontrée et est un véritable atout pour l'estimation de la quantité de végétaux aquatiques. Un modèle mathématique établi sur cette relation et complété par de nouvelles mesures permettrait d'estimer le développement des végétaux.

### 3.2 Impacts du changement climatique sur le développement et la composition des communautés de macrophytes

Le changement climatique va impacter l'hydrologie et la température de l'eau, notamment sur la Loire et la Garonne concernant les rivières surveillées. Or, ces paramètres environnementaux sont des facteurs prépondérants dans le développement des végétaux. Les principales conclusions liées à nos observations semblent être en faveur de la croissance et de la dérive des végétaux :

- La réduction des débits en rivière, avec réduction de la vitesse du courant et de la hauteur d'eau, expose les plantes aquatiques à température de l'air (à la hausse) et à l'ensoleillement, ce qui favorise leur croissance. Nous avons constaté que la croissance des végétaux était précoce et qu'ils devenaient sénescents plus tardivement. Même si ce constat mérite d'être confirmé par des travaux de recherche et d'expérimentation plus approfondis, il semblerait que la saison végétative de certaines espèces se soit allongée.
- L'augmentation de la température de l'eau, est en faveur de l'arrachage des végétaux sénescents, mais aussi de la croissance de nouvelles espèces. Nous avons constaté que certains herbiers (de renoncule par exemple) restaient présents et vivaces tout l'hiver. Il est probable que l'augmentation des températures améliore leur survie hivernale. Par ailleurs, sur certaines années, un phénomène de « seconde croissance » a été observé lorsque les conditions de température, d'ensoleillement et de débit étaient propices au développement des végétaux.
- L'évolution des cortèges d'espèces : bloom d'algues vertes filamenteuses, apparition d'espèces allochtones, d'espèces exotiques envahissantes.

### 3.3 Modélisation de l'arrachage et de la dérive des macrophytes

Afin de comprendre les phénomènes d'arrachage et de transports des macrophytes en rivière, un outil de modélisation est en cours de développement. Il exploite les données issues des suivis terrains et aériens des macrophytes, telle que la surface, la localisation et la biomasse des herbiers. Des prévisions de débits sont également prises en compte pour estimer la force de trainée pouvant conduire à l'arrachage des végétaux. Le modèle, basé sur un calcul hydrodynamique et un calcul pour le transport de particules (végétaux), simule ainsi l'arrachage et le transport des végétaux sur plusieurs kilomètres permettant de connaître la biomasse sur une section donnée de la rivière en aval.

## 4 CONCLUSION

Afin d'avoir une meilleure connaissance du milieu et des rivières en amont des CNPE, EDF-DTG a mis en place avec ses partenaires, une surveillance des macrophytes sur cinq grandes rivières françaises depuis plus de 10 ans. Ces données de différentes natures et continues dans le temps permettent d'évaluer l'évolution spatio-temporelle des macrophytes, de comprendre les principaux changements en cours et essayer de prévoir les évolutions à venir. Ces données peuvent être utilisées à d'autres vocations scientifiques telles que la gestion des rivières, le suivi des espèces exotiques envahissantes ou espèces invasives ou l'eutrophisation du milieu.