



Centrale photovoltaïque flottante

Commune de Rosnay-l'Hôpital (10500)

Réponse à l'avis DEP n°2023-52 du CSRPN



TABLE DES MATIERES

Préambule.....	1
Proposition de mise en place d'un comité de suivi.....	2
Réponses spécifiques au CSRPN	5
Liste de mesures ERCA supplémentaires et détail des protocoles de suivi	25
Annexe : Etude complémentaire sur la vie aquatique menée par Aquascop.....	27

PREAMBULE

La société ROSNAY FLOTTANT SOLAIRE, portée par MER (Monaco Energies Renouvelables) et la SMEG (Société Monégasque de l'électricité et du Gaz) projette la création d'une centrale photovoltaïque flottante sur le lieu-dit Les Gallerandes sur la commune de Rosnay-l'Hôpital, dans le département de l'Aube (Région Grand-Est).

Une demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées a été transmise à la DREAL Grand-Est le 8 mai 2023. Cette dérogation porte sur l'altération ou la dégradation des sites de reproduction des espèces suivantes : grèbe castagneux et grèbe huppé.

Ce mémoire fait suite à l'avis DEP n°2023-52 du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) émis le 24 septembre 2023. Il a pour but de reprendre les points de vigilance et questionnements avancés par le CSRPN et d'y apporter des réponses, des compléments d'analyse ou l'avis du porteur de projet sur les points soulevés afin d'apporter le plus d'éléments de compréhension possibles à l'enquête publique qui suivra.

Les remarques du CSRPN sont notées en blue, les réponses du porteur de projet les suivent directement.

PROPOSITION DE MISE EN PLACE D'UN COMITE DE SUIVI

D'un point de vue générale, le porteur de comprend et retient de la réponse du CSRPN l'inquiétude du comité face aux incertitudes liées au caractère novateur de la technologie flottante, notamment via le commentaire suivant :

Globalement, nous sentons dans l'écriture de l'étude, une vraie recherche assez complète sur un diagnostic détaillé, des effets d'une centrale sur un plan d'eau et de nombreuses précautions y sont décrites. Pour autant, dans une certaine incertitude, ce n'est pas la précaution qui s'exprime, mais la minimisation des impacts possibles et les solutions plus faciles de compenser sur site, n'aboutissant alors à aucun bénéfice sûr pour la biodiversité.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

Le projet de centrale photovoltaïque de Rosnay-l'Hôpital s'inscrit dans un contexte de transition énergétique et de développement des énergies renouvelables au niveau national et européen, décliné au niveau local pour encourager le développement des énergies renouvelables sur les territoires.

En effet, les installations photovoltaïques de production d'électricité constituent un axe majeur de cet effort de transition énergétique. En effet, l'augmentation de la production d'électricité renouvelable se traduit par une réduction de l'utilisation de moyens de production thermiques qui utilisent des énergies fossiles, générateurs de Gaz à Effet de Serre (GES). Ainsi, un électron d'origine renouvelable participe à remplacer progressivement les électrons produits par des énergies fossiles. Sur la prochaine décennie, le développement des énergies renouvelables en France pourrait ainsi permettre d'éviter la combustion d'au moins 700 TWh de combustibles fossiles.

Les objectifs de développement liés à la transition énergétique sont déclinés :

- à l'échelle nationale dans la Programmation Pluriannuelle de l'Energie ;
- à l'échelle régionale dans le SRADDET Grand-Est ;
- à l'échelle locale dans le SCOT des territoires de l'Aube.

Nous nous inscrivons pleinement dans cette dynamique et portons des projets de production d'électricité décarbonée. Le projet de Rosnay-l'Hôpital se base sur la technologie flottante relativement innovante. De ce fait, les incertitudes notamment liées au caractère novateur de la technologie ont été identifiées pleinement dans l'étude d'impact.

Il existe aujourd'hui en effet peu de retour d'expérience sur l'impact de la technologie flottante. Toutefois, nous pensons que la mise en œuvre de ces projets photovoltaïques flottants et en particulier celui de Rosnay-l'Hôpital s'inscrivent dans une démarche nécessaire et vertueuse pour transitionner vers des modes de production d'énergie plus durable. De plus, la mise en œuvre des projets cadrées par des études d'impact détaillées et des mesures de suivis au cours de la vie du projet permet d'alimenter le retour d'expérience et d'accroître nos connaissances collectives sur ces projets.

Dans cette optique, des actions de suivi en phase d'exploitation ont été proposées dans l'étude d'impact. Concrètement, un suivi en phase chantier sera réalisé par un écologue. Ce suivi portera sur :

- L'évitement des populations connues d'espèces protégées ou à fort enjeux et/ou de leurs habitats;
- Le dispositif de limitation des nuisances envers la flore et la faune aquatique ;
- Le respect des périodes de travaux ;
- La limitation des impacts liés à la circulation d'engins de chantier ;
- La lutte contre les Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) ;
- La mise en place de la clôture spécifique perméable ;

- La gestion écologique des habitats dans la zone d'emprise du projet.

De plus, un suivi en phase de fonctionnement sera réalisé par un écologue. Ce suivi portera sur :

- La lutte contre les Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) ;
- La gestion écologique des habitats dans la zone d'emprise du projet.

Rappelons également, que la demande de dérogation pour les espèces protégées impose au porteur de projet une obligation de résultat sur les mesures de compensation mises en œuvre. Cette obligation impose donc de fait, un suivi écologique pertinent ainsi que des actions de corrections des mesures de compensation dans le cas où ces actions n'atteindraient pas leurs objectifs. Afin de cadrer ce suivi, un plan de gestion complet, incluant ce suivi écologique a été rédigé et joint à la demande de dérogation dont a pris connaissance le CSRPN.

Une analyse complémentaire du milieu aquatique est annexée à ce document. Cette analyse, réalisée par le bureau d'études Aquascop se conclut par la partie « 4. Propositions de suivi », dont la synthèse est présentée ci-dessous :

« Du fait de son exploitation plus récente, le plan d'eau nord peut présenter des caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles très différentes de celle du plan d'eau sud. La connaissance de l'état initial des deux plans d'eau est indispensable pour réaliser leur diagnostic écologique et évaluer l'impact potentiel de l'implantation des PV flottants. La qualité de l'eau conditionne l'état et le fonctionnement des compartiments biologiques de l'hydrosystème. Il paraît également indispensable de définir l'état initial des compartiments biologiques aquatiques pour évaluer au mieux l'impact de l'implantation du parc photovoltaïque sur ces écosystèmes (habitats et communautés associées). Une proposition de suivi par compartiment est proposée afin de combler les lacunes de l'étude d'impact précédemment effectuée.

Par ailleurs, en raison de leur développement industriel récent à l'échelle biologique, l'impact réel des centrales photovoltaïques flottantes sur les milieux aquatiques est encore mal connue et difficile à anticiper. C'est pourquoi, il apparait important d'inclure également en phase exploitation de ces nouveaux projets un suivi environnemental permettant d'analyser l'évolution du milieu aquatique et de confirmer l'absence d'impact significatif pour le milieu. [...]

Les préconisations de suivi des milieux aquatiques décrites précédemment sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. »

Compartiment	Méthode	Campagne fin hiver (fév./mars)	Campagne printanière (mai/juin)	Campagne estivale (juill./aout)	Campagne automnale (sept./ oct.)
Physico-chimie eau (point de plus grande profondeur)	Profil vertical (T°C, pH, Cond., O2 dissous)	optionnelle	X	X	X
	Mesure de la transparence	optionnelle	X	X	X
	Prélèvement et analyse laboratoire (zone euphotique)*	optionnelle	X	X	X
	Prélèvement et analyse laboratoire (fond)**	optionnelle	X	X	X
Physico-chimie sédiment	Prélèvement et analyse laboratoire***				X
Phytoplancton	IPLAC	optionnelle	X	X	X
Végétation aquatique	Relevé floristique et cartographique		X	X	complément
Zooplancton	Eau brute et trait de filet	optionnelle	X	X	X
Poisson (option)	Pêche filets maillants			X	ou X
	Pêche électrique des berges			X	ou X
	ADNe (2 réplicats / plans d'eau)		X	ou X	
Mollusques (option, couplée au poisson)	ADNe (2 réplicats / plans d'eau)		X	ou X	

En complément des protocoles de suivi proposés dans l'étude d'impact, dans la demande de dérogation et dans le présent mémoire, nous proposons la mise en place d'un comité de suivi réunissant par exemple la DDT de l'Aube, la DREAL Grand-Est, le PNRFO, et tout autre acteur pertinent souhaitant prendre part au suivi ce projet.

La composition du comité sera définie en concertation avec les différents acteurs avant la fin du chantier de construction, et pourra évoluer selon le besoin pendant toute la durée d'exploitation du projet. Il devra se regrouper environ une fois par an et sur la demande du ou des organismes en charge du suivi environnemental des mesures de compensation. Dans le cas où le comité de suivi des mesures ne comporte pas de représentants des services de l'État, des comptes-rendus seront rédigés et transmis à ces derniers.

Ce comité de suivi vise à :

- Assurer la cohérence globale de la gestion des sites de compensation ;
- Valider les choix stratégiques et les imprévus suite aux divers suivis en se fiant à l'évolution des indicateurs sélectionnés ;
- Aider techniquement le maître d'ouvrage dans les prises de décision ;
- Atteindre l'efficacité des mesures de compensation ;
- Partager la connaissance et alimenter le retour d'expérience sur les impacts des projets flottants dans l'Aube.

En cas de non atteinte des résultats escomptés, le comité de suivi des mesures pourra proposer de nouvelles mesures destinées à garantir l'efficacité de la compensation.

Le maître d'ouvrage reste responsable de la compensation et il est le seul décideur.

REPONSES SPECIFIQUES AU CSRPN

Point de vigilance 1 : Des espèces connues sur le territoire n'ont pas été observées lors de la période de terrain (Cordulie à corps fin), cette espèce est protégée à l'échelle nationale et doit être identifiée comme telle dans l'étude d'impact (cf. Tab. 19), même chose pour l'écureuil roux (cf. Tab. 23), pour le Chat forestier etc. même si pour ces dernières espèces, les enjeux ne sont pas à considérer sur le site.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

La méthodologie d'inventaires est détaillée dans l'étude d'impact ainsi que dans le dossier de demande de dérogation. Cette méthodologie est une étape cruciale pour évaluer les enjeux d'un projet, elle permet de recenser les espèces présentes sur le site du projet et d'évaluer leur état de conservation ainsi que la fonctionnalité des habitats. La qualité de l'évaluation de l'état initial du site dépend grandement de la pertinence de la méthodologie d'inventaires mise en œuvre. Les inventaires ont été menés conformément aux bonnes pratiques actuelles ainsi qu'à l'état de l'art scientifique.

Rappelons qu'une étude d'impact n'a pas pour objectif une exhaustivité d'inventaire, mais bien, dans des moyens proportionnels à l'ampleur et aux impacts prévisionnels du projet, de réaliser un état initial, dont une partie se base sur des inventaires de terrain sur un ensemble de taxons, avec une stratégie d'échantillonnage permettant d'évaluer au mieux les enjeux écologiques avant-projet. Ainsi, il est fréquent que des données bibliographiques avérées sur un site puissent ne pas être observées à l'occasion d'un nombre fini de sorties définies dans le cadre d'une étude d'impact, soit par biais de détection (qu'il convient aux bureaux d'étude de limiter au maximum), ou bien alors par effet de mobilité de certaines espèces.

Dans sa réponse, le CSRPN constate que certaines espèces protégées et connues sur le territoire n'apparaissent pas dans la description des inventaires et de l'état initial. Toutefois, la méthodologie d'inventaires n'est nullement remise en cause. Nous en concluons que les inventaires naturalistes réalisés sont pertinents et constituent une base solide pour évaluer l'impact du projet sur l'environnement.

Pour l'écureuil roux et le Chat forestier, leur observation aurait permis une augmentation des enjeux mammifères au niveau des habitats les plus fonctionnels pour eux, niveau d'enjeu qui serait resté inférieur ou égal à celui de la synthèse des enjeux. Par ailleurs, ces espèces ne seront en effet que très faiblement impactées par la nature du projet.

Pour la Cordulie à corps fin, à l'échelle du site, l'espèce présente des caractéristiques de cycles de vies comparable à l'Agrion exclamatif, ce dernier ayant un statut de conservation notablement plus précaire nationalement et régionalement, et donc une plus forte patrimonialité. Ainsi le niveau d'enjeu odonate s'est trouvé guidé par la présence de l'Agrion exclamatif, permettant de prendre en compte la présence potentielle de la Cordulie à corps fin et les impacts prévisionnels sur l'espèce.

Si l'analyse est détaillée pour l'ensemble des taxons avec des méthodologies d'inventaire satisfaisante, les enjeux sont en général assez minimisés pour les parties plans d'eau, en l'occurrence surtout pour l'avifaune et les chiroptères.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

Pour l'ensemble du site, la méthode d'évaluation, présentée en méthodologie repose sur 3 éléments, analysés par taxon ou cortège :

- La fonctionnalité des habitats pour le taxon ou cortège considéré (zone de reproduction, zone de nourrissage, zone de repos, etc.) ;
- Le niveau de protection des espèces observées dans les taxons ou cortèges considérés ;
- Le niveau de patrimonialité des espèces observées dans les taxons ou cortèges considérés.

Pour les parties plans d'eau, une analyse complémentaire a été demandée au bureau d'étude Aquascop spécialisé en milieux lacustres et ayant quelques expériences sur des parcs photovoltaïques flottants. Aquascop a notamment densifié la revue de littérature sur le sujet. Toute leur étude est présente en annexe de ce document.

La littérature scientifique concernant l'impact des PV flottants sur les compartiments insectes, oiseaux et chiroptères n'est pas très développée. Les paragraphes suivants présentent un récapitulatif des informations mises en évidence par la synthèse bibliographique.

Impacts sur l'entomofaune

De nombreux insectes passent une partie ou tout leur cycle biologique en milieu aquatiques. Leur succès reproducteur dépend de la qualité du milieu aquatique dont ils dépendent pour se reproduire ou pour certaines périodes de leur cycle de vie. Aucune étude n'a approfondi spécifiquement l'impact de l'implantation de PV flottants sur l'entomofaune à notre connaissance.

1. La majorité des impacts identifiés sur ces peuplements est liée à des perturbations des habitats en phase de mise en place. Ils ont été bien décrits lors de l'étude d'impact.
2. En phase d'exploitation, parmi les références à l'impact des PV flottants sur l'entomofaune, certaines études indiquent que certains types de panneaux photovoltaïques auraient un impact négatif sur ce succès reproducteur, en désorientant les communautés utilisant la polarisation horizontale de la lumière dans la masse d'eau pour identifier les sites de pontes optimaux. En conséquence, l'installation de PV flottants pourrait occasionner un échec de la reproduction de certaines espèces, entraînant leur disparition rapide du milieu. Cet effet a été documenté pour les populations de Trichoptères, Tabanidae, Epheméroptères, et Chironomidae (Blahó et al., 2012; Horváth et al., 2014). Cependant, cette problématique peut être résolue en modifiant la structure des panneaux photovoltaïques pour minimiser cet effet (Horváth et al., 2010; SOUBELET et al., 2021).

Un autre effet documenté est lié à l'ombrage lié à la présence d'un parc photovoltaïque, qui réduirait la fréquentation des insectes pollinisateurs dépendants de l'énergie solaire pour activer leur métabolisme. Cet effet nous semble peu pertinent au vue de l'installation des PV sur un plan d'eau (Marx, 2022).

3. En phase de démantèlement, les mêmes impacts que pour la phase de mise en place ont été identifiés et bien décrits dans l'étude d'impact.

Impacts sur l'avifaune et les chiroptères

Comme l'étude d'impact l'a mis en évidence, l'avifaune et les populations de Chiroptère sont fortement dépendantes des milieux aquatiques dont elles se servent particulièrement pour la recherche de nourriture, et la nidification. Il existe malheureusement peu d'études abordant l'impact de la présence de PV flottant sur ces communautés.

1. La majorité des impacts identifiés sur ces peuplements est liée à des perturbations des habitats en phase de mise en place. Ils ont été bien décrits lors de l'étude d'impact.
2. En phase d'exploitation, parmi les impacts identifiés, des collisions ont été rapportées, occasionnant la mort des individus (SOUBELET et al., 2021). Elles sont cependant bien moins documentées que pour les parcs éoliens pour lesquels des épisodes de mortalité de masse ont pu être rapportés en conditions de visibilité réduite, et il n'y a pas suffisamment de données pour établir une relation directe entre la polarisation des panneaux et les collisions observées (Marx, 2022). A l'inverse, plusieurs études ont documenté l'usage des PV flottants comme perchoir ou lieu de nidage pour la faune aérienne locale ou migratrice, bien que ces usages ne soient pas souhaitables pour la SMEG puisqu'ils sont susceptibles de réduire l'efficacité du dispositif (Exley et al., 2021). L'utilisation des PV flottants comme perchoir ou zone de nidage n'est également pas souhaitable pour la qualité du milieu aquatique au droit du parc, car ces communautés produisent des fientes,

riches en phosphore et azote, susceptibles d'eutrophiser le milieu et de favoriser des efflorescences algales (Exley et al., 2021).

L'effet négatif identifié pour les insectes polarotactiques, favorisant leur ponte sur les panneaux plutôt que dans le plan d'eau, pourrait être favorable aux oiseaux et aux chiroptères (bergeronnettes, moineaux, mésanges charbonnières notamment), dont la prédation sur les insectes piégés ou posés sur les panneaux a été mise en évidence. Cependant si ces populations s'épuisent du fait de la baisse de leur succès reproducteur, leurs prédateurs pourraient en pâtir sur le long terme (Marx, 2022).

3. En phase de démantèlement, les mêmes impacts que pour la phase de mise en place ont été identifiés et bien décrits dans l'étude d'impact.

Les impacts de collision avec l'ensemble (très important) des oiseaux migrateurs de surface n'est considéré que comme modéré à faible. Or, une mortalité directe découle des collisions avec la surface des panneaux et est avérée pour les oiseaux, qui confondent déjà les étendues de panneaux solaires terrestres avec des surfaces en eau (Walston et al., 2015 ; Visser et al., 2019). L'impact risque d'être élevé sur une surface en eau habituellement utilisée par l'avifaune.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

Notre demande de dérogation porte sur l'altération et la dégradation des sites de reproduction et non pas sur la mortalité. Malgré tout, un état de l'art complémentaire sur les collisions adaptées au projet est apporté ci-après. Toutes les références bibliographiques y sont consignées.

Peu d'études s'attachant spécifiquement aux risques de collision de la faune volante sur des projets photovoltaïques flottant, le présent état de l'art aborde et recontextualise également des articles réalisés sur des parcs photovoltaïques au sol¹.

Une installation photovoltaïque au sol ou flottant peut avoir un impact sur la biodiversité à toutes les phases du projet (construction, fonctionnement, démantèlement). La mortalité directe par collision, par électrocution ou brûlure avec une infrastructure photovoltaïque semble se dessiner dans la littérature technique et scientifique actuelle comme la seconde pression la plus importante pour ce type d'énergie².

Avifaune

Cette partie s'attache à relayer deux phénomènes étudiés dans la littérature scientifique et technique, « **l'effet lac** » ainsi que le risque de **brûlure** pour la faune par les panneaux photovoltaïques et se clôture par une approche **quantitative des collisions**.

Effet lac

Une étude analyse et évalue la mortalité aviaire par 3 installations d'énergie solaire au Sud de la Californie. Un premier article sur cette étude cherche à comprendre les causes de mortalité de l'avifaune

¹ PIMENTEL DA SILVA, G. D. & BRANCO, D. A. C. (2018) *Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts*. Taylor & Francis Online. Impact Assessment and Project Appraisal. Volume 36, Pages 390-400. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14615517.2018.1477498>

² SOUBELET, H., SILVAIN, J. F., GOFFAUX, R. *Prospective scientifique sur les impacts des installations de production d'énergie renouvelables sur la biodiversité et lacunes de connaissances*. Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.

et développe notamment l'hypothèse de « l'Effet de Lac »³, tandis qu'un second quantifie cette mortalité et son lien avec le phénomène de brûlure⁴.

L'Effet de Lac est l'hypothèse que les oiseaux, principalement les espèces dépendantes de l'eau (huards, grèbes, râles, foulques, oiseaux de rivage, oiseaux aquatiques et sauvagine), **confondraient les panneaux solaires photovoltaïques avec des étendues d'eau** et s'y percuteraient lorsqu'ils tentent d'atterrir. En effet, les rayons réfléchis par la surface des panneaux PV sont perçus par les oiseaux de la même façon que les rayons réfléchis par une étendue d'eau³.

Il est à prendre en considération que ce type de collisions sur des surfaces de panneaux photovoltaïques implique que les oiseaux doivent arriver de manière consciente sur une surface qu'ils estiment liquide alors qu'elle est en réalité solide. Il faut alors que cette arrivée sur se fasse à une **vitesse et une posture adaptée à l'amerrissage, mais qui se révélerait létale en cas d'atterrissage**, ce qui est un cas de figure surprenant.

Les capacités visuelles de l'avifaune varient énormément d'une espèce à l'autre, de sorte que certaines ont une capacité de résolution nettement supérieure à celle de l'Homme (rapaces), et jusqu'à 7 fois moins bonne que les capacités maximales de l'Homme (Bernache du Canada)⁵. Or l'œil humain, est dans la plupart des conditions météo capable de détecter les panneaux photovoltaïques à plusieurs centaines de mètres de haut, ce qui permet également en théorie à des oiseaux à faible vue d'également les repérer à des distances où elles peuvent encore choisir de ne pas atterrir. Cette réflexion est reprise dans une étude de 2021 qui invite à nuancer la possibilité d'un effet de Lac. L'article montre qu'il est **peu probable qu'une installation solaire photovoltaïque fournisse un signal de lac à tous les oiseaux des habitats aquatiques** et qu'un apprentissage puisse se développer⁶.

Néanmoins, afin de réduire le risque de collision par effet lac, **une mesure d'augmentation de la visibilité sera prise**, elle est détaillée à la fin de ce mémoire.

Risques de brûlures

L'étude sur Sud de la Californie identifie les brûlures par flux solaires qui seraient la cause de mortalité dans 1/3 des cas. **Une brûlure des plumes de vols de la queue ou des ailes peut s'avérer indirectement fatale pour l'oiseau.** En effet, une perte de capacité de vol d'un oiseau réduit sa capacité à se nourrir et le rend plus sensible à la prédation. La mortalité peut aussi être directe dans le cas où la brûlure toucherait le corps et affaiblirait trop fortement l'oiseau, empêchant sa survie³. Les brûlures provoquées par les installations photovoltaïques pourraient occasionner la mort de plusieurs milliers ou dizaines de milliers d'oiseaux par année aux États-Unis⁴

Ces informations concernant les brûlures sur l'avifaune sont à néanmoins à relativiser au regard des études de risques pour l'Homme par des panneaux photovoltaïques en fonctionnement. En effet, dans les études des risques liés à l'exploitation de panneaux photovoltaïque, qu'elles soient réalisées par des constructeurs de panneaux photovoltaïques, des installateurs, d'assurances, associations de consommateurs ou même par l'ADEME, **il n'a pas été possible de trouver de mention de risque de**

³ KAGAN, R. A., VINER, T. C., TRAIL, P. W. & ESPINOZA, E. O. (2014). *Avian Mortality at Solar Energy Facilities in Southern California: A Preliminary Analysis*. National Fish and Wildlife Forensics Laboratory
<https://usiraq.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.PDF>

⁴ WALSTON, L. J., ROLLINS, K. E., LAGORY, K. E., SMITH, K. P., & MEYERS, S. A. (2016). *A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States*. *Renewable Energy*, Volume 92, Pages 405-414.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116301422>

⁵ Martin, Graham R. 2022. "Vision-Based Design and Deployment Criteria for Power Line Bird Diverters" *Birds* 3, no. 4: 410-422.
<https://doi.org/10.3390/birds3040028>

⁶ KOSCIUCH, K. RISER-ESPINOZA, D. MOQTADERI, C. & ERICKSON, W. (2021) *Aquatic Habitat Bird Occurrences at Photovoltaic Solar Energy Development in Southern California, USA*. MDPI.
<https://www.mdpi.com/1424-2818/13/11/524>

brulure pour un être humain sur un panneau photovoltaïque en fonctionnement. Les études scientifiques sur le refroidissement de panneaux solaire visant à leur optimisation parlent de température moyennes lors d'expositions maximales entre **24°C et 54°C** en fonction du système de refroidissement utilisé⁷. Ces gammes de températures sont en effet incompatibles avec une brulure par simple toucher, ou avec la combustion de plumes d'oiseaux.

Approche quantitative

La collision peut entraîner soit une mortalité directe (choc et/ou fracture fatal pour l'oiseau), soit indirecte en assommant seulement l'oiseau qui est alors plus sensible à la prédation³.

Une étude a été menée sur l'impact du développement de l'énergie solaire sur les communautés d'oiseaux a été réalisée en Afrique du Sud, sur l'une des plus grandes installations photovoltaïques du pays, située à Jasper (96 MW). Le parc a une étendue sur 180 ha, l'installation comporte 325 360 panneaux solaires à carrelage fixe (1.86 m de haut et espacés de 3.11 m). Les auteurs y évaluent le risque de mortalité par collision aviaire. 8 décès ont été détectés au cours de 3 mois d'étude. Cette mesure a permis d'extrapoler une mortalité de 435 oiseaux par an pour cette installation, soit **4.5 oiseaux par mégawatt et par an**⁸.

On peut comparer ce chiffre avec les résultats d'études de surveillance sur 13 ans de la mortalité aviaire dans 10 installations solaires photovoltaïques en Californie et au Nevada. L'estimation annuelle moyenne de la létalité calculée pour l'énergie solaire photovoltaïque est de **2,49 oiseaux par mégawatt et par an**⁹, valeur inférieure à celle extrapolée par l'étude menée en Afrique du Sud et décrite ci-dessus. L'extension de ces résultats à d'autres installations photovoltaïques semble limitée. La quantification de la mortalité pourrait varier selon le site et les conditions qui lui sont propres.

En France, l'Office français de la biodiversité (OFB) a lancé en 2023 un appel à projets de recherche (AAP) « **ENVOLtaïque** » afin de préciser les incidences des parcs photovoltaïques terrestres sur les communautés d'oiseaux. La collecte de données massive par collision fait partie des objectifs de ce projet.

A noter aussi que les insectes peuvent être attirés par les installations photovoltaïques, augmentant la probabilité de collision des oiseaux¹⁰.

Chiroptères

Les chiroptères utilisent leur système d'écholocation pour s'orienter et se déplacer. Une étude a montré que les chauves-souris peuvent **confondre les surfaces lisses verticales avec des zones ouvertes** de trajectoires de vol, probablement en raison de leurs propriétés de miroir acoustique. Cette mauvaise interprétation de leur environnement entraîne souvent des collisions répétées avec les constructions à surfaces lisses verticales d'origine anthropique. Il est à noter que lors de ces expériences en laboratoire, toutes les chauves-souris ont été inspectées après expérimentation et **aucune blessure n'a été relevée**¹¹. Aucune étude n'a été menée spécifiquement sur les installations photovoltaïques flottants mais selon leur orientation, les panneaux solaires au sol pourraient s'y apparenter.

⁷ M. RAHIMI et al. 2015. « A comparative study on using single and multi header microchannels in a hybrid PV cell cooling ». *Energy Convers Manage*

⁸ VISSER, E., PEROLD, V., RALSTON-PATON, S., CARDENAL, A. C., & RYAN, P. G. (2019) *Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa*. *ScienceDirect*. *Renewable Energy*, Volume 133, Pages 1285-1294. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118310565>

⁹ KOSCIUCH, K. RISER-ESPINOZA, D. GERRINGER, M. & ERICKSON, W. (2020) *A summary of bird mortality at photovoltaic utility scale solar facilities in the Southwestern US*. *Journal Plos One*.

¹⁰ HORVATH, G., BLAHO, M., EGRI, Á., KRISKA, G., SERES, I., & ROBERTSON, B. (2010). *Reducing the Maladaptive Attractiveness of Solar Panels to Polarotactic Insects : Polarized Light Pollution from Solar Panels*. *Conservation Biology*, 24(6), 1644-1653. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>

¹¹ GREIF, S. ZSEBOK, S. et al. (2017) *Acoustic mirrors as sensory traps for bats*. *Science*, Volume 357, NO. 6355, Pages 1045-1047.

Une autre étude cherchant à comprendre comment les chauves-souris écho-locatrices reconnaissent les plans d'eau pour s'abreuver constate que celles-ci perçoivent comme de l'eau toute surface étendue et lisse sur le plan écho-acoustique. L'étude montre même que cette reconnaissance est innée car les juvéniles n'ayant jamais rencontré de plans d'eau s'essayaient déjà spontanément à boire de l'eau sur des surfaces lisses. Les chiroptères peuvent donc **se heurter à la surface des panneaux solaires photovoltaïques en les prenant pour des étendues d'eau**¹². Certaines espèces chassant préférentiellement sur les plans d'eau telles que les Murin de Daubenton sont donc plus sujettes à ce risque de collision².

¹² GREIF, S. Siemers, B. M. (2010) *Innate recognition of water bodies in echolocating bats*. Nature communications, Article no. 107. <https://www.nature.com/articles/ncomms1110>

On ne peut pas dire, comme l'entend l'analyse des impacts p.134, que l'impact sera négligeable car il y aura report de l'avifaune sur les autres plans d'eau non impactés par le projet présenté. S'il y a analyse des autres plans d'eau périphériques pour affirmer que ceux-ci ont les mêmes caractéristiques, rien ne prouve qu'ils n'auront jamais eux-aussi de projets photovoltaïques (ou touristiques) les affectant, créant alors un impact cumulé. Certes ces compléments sont donnés dans le « l'étude des capacités de report de l'avifaune utilisatrice des plans d'eau ». Cette partie est d'ailleurs bien détaillée avec la recherche de milieux similaires et de comparaisons (néanmoins rapides) avec la biodiversité des plans d'eau à proche et moyenne distances.

Nous aurions pu penser que cette analyse amène à proposer la maîtrise et la protection d'un de ces plans d'eau (plan d'eau n°22 par exemple) comme mesure compensatoire.

Au final, cela sert juste d'argumentaire constatant que les milieux périphériques serviront bien comme milieu de report. On ne peut se défausser sur des sites extérieurs dont le maître d'ouvrage n'a pas la maîtrise foncière pour énoncer qu'il n'y aura pas d'impacts.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

La capacité de report de l'avifaune utilisatrice des plans d'eaux est détaillée dans le dossier de dérogation et fait l'objet d'inventaires spécifiques dans une zone élargie par rapport à la zone de projet.

Au regard des caractéristiques du projet, les fonctionnalités principales altérées par le projet sont liées à l'accueil pour l'avifaune utilisatrice de plans d'eau. En se plaçant à l'échelle d'une ZIP, tout projet de parc photovoltaïque flottant implique nécessairement une perte d'habitat de repos pour l'avifaune hivernante et migratrice. Cela constitue-t-il pour autant un impact résiduel significatif pour à l'échelle des populations locales considérées à une échelle géographique cohérente ? Rappelons que l'implantation ne représentera qu'une couverture de 36% de la surface en eau des 9,7 Ha d'eau de la Zone d'Implantation potentielle et que la ZIP est elle-même incluse dans un large réseau comprenant de multiples plans d'eaux à échelle de quelques kilomètres.

L'avifaune utilisatrice de plans d'eau a une grande capacité de déplacement, lors des périodes de migration et d'hivernage. Tant qu'elles ont une possibilité d'aller sur un autre plan d'eau suffisamment proche et que celui-ci n'est pas saturé, on peut considérer que les espèces ont une capacité de report qui ne va pas impacter significativement ces phases de leur cycle biologique. Les capacités de déplacement journaliers de ce cortège d'avifaune, sont en effet très importantes. Par exemple, des individus de Canard colvert peuvent réaliser des déplacements journaliers en migration active, en haute altitude, de plusieurs centaines de kilomètres.

La combinaison des approches par inventaire et évaluation de la capacité d'accueil a permis d'obtenir une carte du potentiel d'accueil de l'avifaune hivernante et migratrice, présentée ci-dessous.



Projet de centrale solaire photovoltaïque
Commune de Rosnay-l'Hôpital (10)

Étude écologique

Potentiel d'accueil pour l'avifaune hivernante
et migratrice utilisatrice de plans d'eau
dans l'aire d'étude élargie (5 km)

Aires d'étude

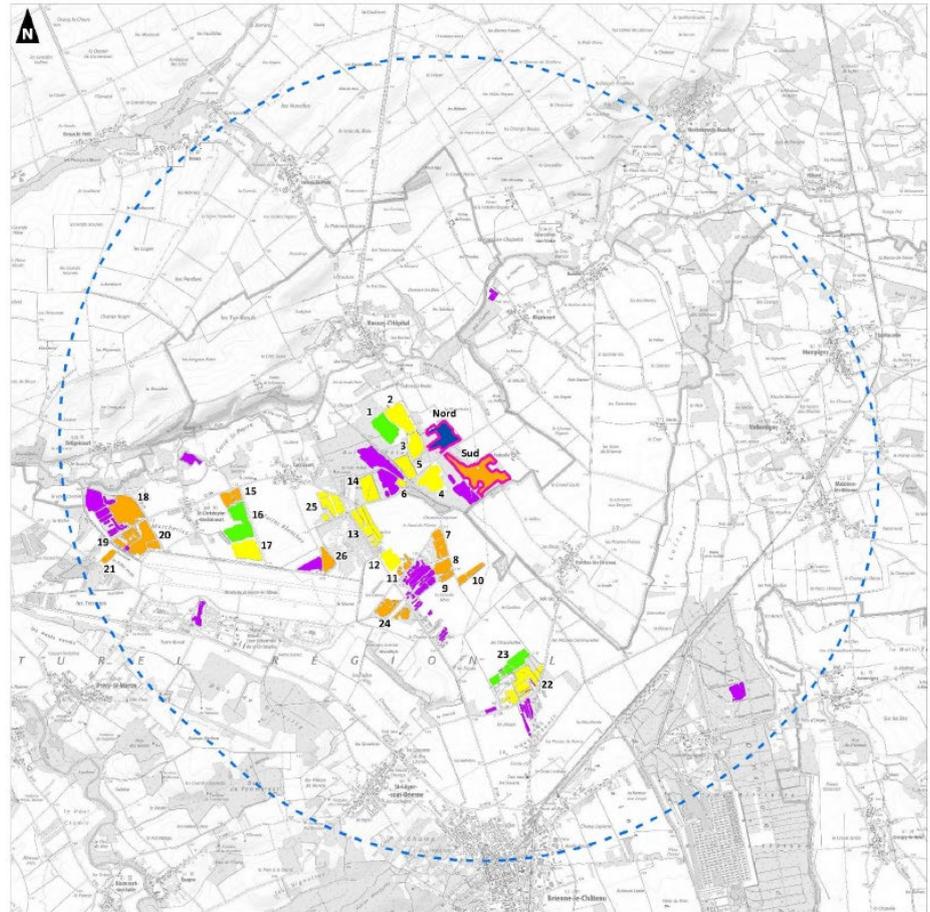
- Zone d'implantation Potentielle (ZIP)
- Aire d'étude élargie (5 km)

Potentiel d'accueil

- Très fort
- Fort
- Moderé
- Faible
- Non prospecté



Réalisation : AUDDICÉ, avril 2023
Sources de fond de carte : IGN SCAN 25
Sources de données : SANDRE BD Topage - SVEG - AUDDICÉ, 2021-2023



Il y a dans l'aire d'étude de 5 km une grande quantité d'ensemble de plans d'eau (41), représentant une surface cumulée de 144,5 Ha et beaucoup d'autres plans d'eau sont amenés à être créés dans les années à venir du fait de la dynamique de l'activité des carrières locales.

La qualité des plans d'eau ainsi générée est souvent faible dans un premier temps du fait de leurs caractères récents, puis du fait de leurs usages défavorables au développement d'une fonctionnalité écologique pertinente (sites d'agrément, de chasse, de pêche, de loisirs etc.). Mais localement plusieurs plans d'eau montrent des capacités d'accueil importantes. En effet, 3 ensembles de plans d'eau (représentant 27 Ha) sont utilisés régulièrement par les oiseaux d'eau : le N°1 situé à proximité immédiate des deux plans d'eau en projet, le N°16 situé à 3 km à l'ouest et le N°23 situé à 3 km au sud. Le N°22 ne présente pas d'intérêt écologique particulièrement remarquable au sein de cet ensemble.

Le projet implique donc une altération d'habitat de repos en l'hivernage et en halte migratoire pour de nombreux oiseaux d'eau, cet impact est plus important concernant l'étang nord du projet. Néanmoins, même en prenant la projection pessimiste d'un abandon total des oiseaux sur les plans d'eau de la ZIP, compte tenu de la quantité, de la qualité et de l'absence de saturation des plans d'eau alentours, un report fonctionnel reste possible sur les plans d'eau à l'échelle de l'aire d'étude de 5 km.

L'analyse des impacts cumulés a bien été réalisée p148 du dossier de demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées (DDEP). Il prend en compte les projets de nature comparable connus au moment de la rédaction, non construits mais ayant reçu un avis favorable, les projets en cours de construction, ainsi que les projets existants.

De plus, l'article R122-5 du code de l'environnement précise le contenu de l'étude d'impact d'un projet.

Le paragraphe II.5.e de cet article stipule que doit apparaître dans l'étude d'impact « *une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultat entre autres : [...]* »

e) Du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, en tenant compte le cas échéant des problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées.

Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont été réalisés.

Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact :

- *ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une consultation du public ;*
- *ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.*

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage »

Le code de l'environnement impose donc aux porteurs de projet d'étudier les effets cumulés de son projet avec les projets antérieurs. Aucune anticipation de l'évolution future du secteur n'est requise, si tant est qu'elle soit possible.

A ce jour, les plans d'eaux étudiés sont libres et disposent de la capacité d'accueil pour l'avifaune. De ce fait, il revient aux maîtres d'ouvrage souhaitant porter des projets sur ces plans d'eaux de devoir évaluer dans leurs futures études d'impact les effets cumulés de leur projet afin d'intégrer la question du report de l'avifaune utilisatrice de plans d'eaux.

Les mesures compensatoires se font alors sur les sites mêmes. Rien ne prouve (sauf peut-être à rechercher dans la littérature anglo-saxonne) que les aménagements « compensateurs » in situ, très proche des panneaux, seront attractifs et non dangereux (collisions avec la surface des panneaux pour les oiseaux, qui confondent avec des surfaces en eau (Walston et al., 2015 ; Visser et al., 2019)).

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

Le guide CEREMA « Évaluation environnementale Guide d'aide à la définition des mesures ERC » de 2018 reprend la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages a réaffirmé (L. 163-1 du code de l'environnement). Il rappelle que la proximité géographique avec la priorité donnée à la compensation « sur le site endommagé ou, en tout état de cause, à proximité de celui-ci afin de garantir ses fonctionnalités de manière pérenne ».

Si aucune étude ne prouve à ce jour l'efficacité ou l'inefficacité de ces mesures compensatoires in situ, il est à rappeler que la notion même de compensation est elle-même controversée dans la littérature scientifique mais que le seul élément qui en ressort nettement est que les résultats de l'efficacité de ces mesures dépendent énormément de la qualité de leur prescription et de leur mise en œuvre. Le

pétitionnaire propose sur ce dossier ici un ensemble de méthodes mise au point par un groupe de travail d'écologues inter-entreprises, reprenant des techniques éprouvées mais aussi adaptées au site.

Le suivi de pour la bonne mise en place de ces mesures est détaillé au paragraphe « Liste de mesures ERCA supplémentaires et détail des protocoles de suivi ».

Le porteur de projet souhaite également rappeler que la demande de dérogation espèces protégées l'oblige à mettre en œuvre des actions de compensation efficaces et à les corriger et réorienter dans le cas où les objectifs ne seraient pas atteints.

Le comité de suivi proposé en début de ce document aurait notamment pour but de suivre l'évolution de la fonctionnalité écologique du site.

Point de vigilance 2 : Le projet photovoltaïque ne se situe pas en bordure du Parc Naturel Régional de la Forêt d'Orient, (cf. chap.5, 1.1.3. Impacts sur les continuités écologiques), mais dans le territoire du PNR. Il conviendra donc de tenir compte de leur avis technique concernant ce projet économique et de la cohérence avec la charte du parc.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

Le PNRFO a été concerté pendant la phase de développement du projet. Au cours de l'instruction du projet, le PNRFO a émis un avis consultatif défavorable sur le projet. D'un point de vue général, la charte du PNR a été bien respecté sur les plans économiques, techniques, paysagers. Des réserves et commentaires ont été exprimés par le PNR dans son avis sur les questions de biodiversité ce qui l'a mené à un avis défavorable. Un mémoire en réponse spécifiquement à cet avis a été rédigé et répond de façon plus précise aux remarques.

En tout état de cause, nous invitons le PNRFO a prendre part activement au comité de suivi du projet qui sera mis en place pendant le chantier afin de suivre l'évolution de ce projet.

A minima, après des échanges, les membres du PNRFO nous ont transmis un projet de convention qui pourrait être signé entre la société de projet ROSNAY SOLAIRE FLOTTANT et le PNRFO pour cadrer les échanges entre ces deux parties pendant toute l'exploitation de la centrale.

L'installation d'un projet photovoltaïque crée des zones d'ombre au sol (Tanner et al., 2014) engendrant une modification des conditions physico-chimiques de l'herbier aquatique et de l'eau sur l'ensemble du milieu. Le risque est d'assister à une évolution des herbiers vers des groupements de végétation dystrophes, ce qui aura un effet non négligeable sur la faune.

Commentaires et avis techniques du porteur de projet

L'analyse des impacts du solaire photovoltaïque flottant sur le milieu lacustre a fait l'objet d'un travail complémentaire du bureau d'études Aquascop spécialisé dans le domaine aquatique depuis 1985. Fort d'une longue expérience des suivis hydrobiologiques en rivières et plans d'eau (indices biologiques, inventaires piscicoles, suivis de frayères), Aquascop a réalisé de nombreuses études d'impacts et dossiers d'incidences. Les demandes relatives à l'installation de panneaux photovoltaïques sont en augmentation depuis 2017 (Figure 2). A ce jour, 25 sites ont été étudiés pour des projets d'installation de panneaux photovoltaïques, dans 17 départements répartis dans 8 régions (Figure 1).

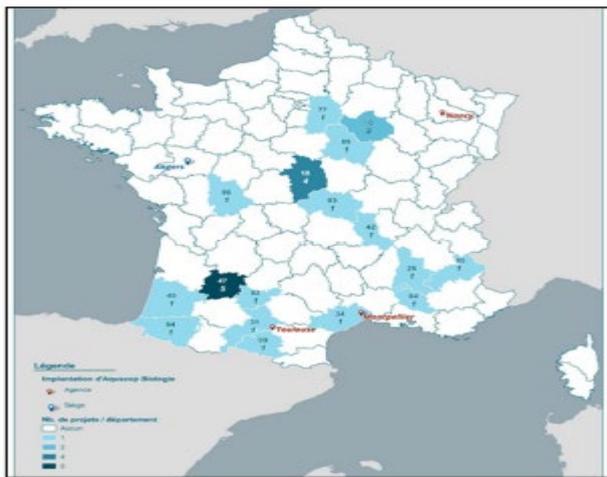


Figure 1. Localisation des projets d'installation de panneaux photovoltaïques ayant bénéficié d'un accompagnement d'Aquascop.



Figure 2. Evolution du nombre d'études réalisées sur des projets de panneaux photovoltaïques flottants.

Les projets accompagnés par Aquascop depuis 2017 présentent des sites aux caractéristiques différentes (Figure 3), en termes de :

- Typologie (retenues hydroélectriques, bassins d'irrigation, anciennes gravières, anciens bras morts de cours d'eau, ...)
- Surface (de quelques hectares à plus de 50 ha) ;
- Profondeur (inférieure à 2 m à plus de 20 m) ;
- Degrés d'artificialisation (berges, marnage, etc.).

Ces caractéristiques définissent le fonctionnement des hydrosystèmes sur lesquels sont implantés les panneaux photovoltaïques. De par leur localisation variée, ces projets sont également impactés par la météorologie, la géologie, le contexte écologique (présences de zones, d'habitats, d'espèces à enjeux forts,...), des mesures de protection, etc. Chaque étude est donc spécifique et nécessite une attention particulière.

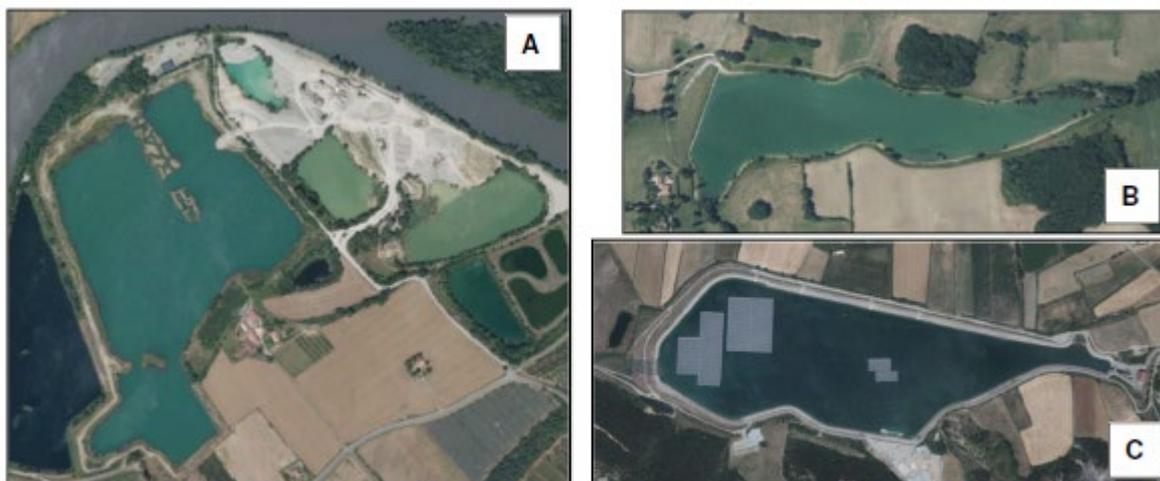


Figure 3. Des sites aux caractéristiques morphologiques variés ; A : gravière récente en fin d'exploitation, B : retenue collinaire d'irrigation, C : retenue artificielle hydroélectrique.

Ce travail d'analyse complémentaire sur le projet de Rosnay-l'Hôpital a fait l'objet de la rédaction d'un rapport d'une cinquantaine de pages annexé au présent document. Notamment, une étude bibliographique densifiée a été menée pour évaluer l'impact potentiel du projet sur le milieu aquatique.

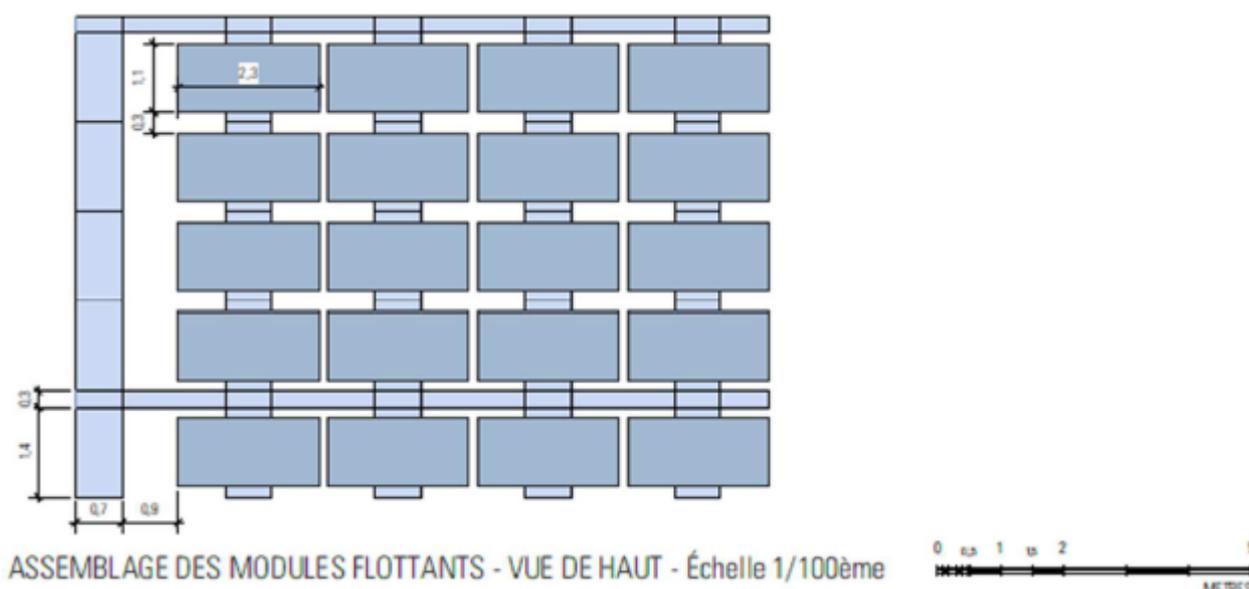
La revue de la littérature scientifique pointe de nombreux impacts potentiels de l'implantation de panneaux photovoltaïques flottants sur le fonctionnement des milieux aquatiques. Cependant plusieurs de ces impacts ont des effets antagonistes. Ces effets sont qui plus est pleinement dépendants (i) du fonctionnement initial du milieu, de la composition des compartiments et de leurs interactions trophiques (ici encore méconnus), (ii) du pourcentage de recouvrement des PV flottants sur le plan d'eau. En dessous de 40% de recouvrement, de nombreuses études indiquent que l'effet sur le milieu est faible voire non significatif. Le projet de la SMEG prévoit une implantation du parc photovoltaïque préservant les berges et les hauts fonds, zones les plus biogènes des plans d'eau du site d'implantation. **Le pourcentage de recouvrement de 36% suppose des effets modérés sur l'ensemble des milieux aquatiques.** Une synthèse des impacts potentiels recensés par la littérature scientifique et détaillés dans ce rapport est présentée dans le tableau ci-dessous.

Types d'impact	Phase de mise en place	Phase d'exploitation		Phase de démantèlement
	Menaces	Bénéfices	Menaces	Menaces
Physique	<ul style="list-style-type: none"> Remise en suspension sédimentaire Destruction mécanique d'habitats Colmatage des fonds 	<ul style="list-style-type: none"> ∖ évaporation ∖ température de l'eau ∕ homogénéisation liée à une réduction de la stratification 	<ul style="list-style-type: none"> ∖ mélange colonne d'eau l'hiver 	<ul style="list-style-type: none"> Remise en suspension sédimentaire Destruction mécanique d'habitats Colmatage des fonds
Chimique	Remise en suspension de contaminants provenant des sédiments	<ul style="list-style-type: none"> ∖ anoxie l'été ∖ relargage de PO43- ∕ oxygène dissous 	<ul style="list-style-type: none"> ∖ oxygène dissous dans l'hypolimnion, ∕ risque anoxie l'hiver si colonne d'eau pas assez mélangée ∕ nitrification, production de méthane et H₂S 	Remise en suspension de contaminants provenant des sédiments
Biologique	<ul style="list-style-type: none"> Perte de biodiversité du compartiment macrophyte favorable à l'installation d'espèces rudérales, exotiques envahissantes Mortalité de la macrofaune benthique liée au colmatage Impact sur les réseaux trophiques 	<ul style="list-style-type: none"> ∖ développement bactérien ∖ prolifération algale et crises dystrophiques estivales ∖ vigilance poissons ∕ zooplancton ∕ développement macrophytique car ∖ compétition phytoplancton pour ressources lumineuses et nutritives ∕ substrats pour macrofaune benthiques et macrophytes 	<ul style="list-style-type: none"> ∖ efficacité prédation visuelle Modification de la composition des compartiments phytoplanctonique : Promotion d'espèces plus compétitrices en milieu faiblement éclairé : diatomées filamenteuses, cyanobactéries, Modification des interactions trophiques ; 	<ul style="list-style-type: none"> Perte de biodiversité du compartiment macrophyte favorable à l'installation d'espèces rudérales, exotiques envahissantes Mortalité de la macrofaune benthique liée au colmatage Impact sur les réseaux trophiques

Des mesures d'évitement et de réduction ont été proposées par Aquascop sur la base de leur analyse complémentaire du projet. Ces mesures reprennent toutes des mesures déjà identifiées et actées dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Une attention particulière a été portée sur le taux d'occultation du plan d'eau lié à la présence des installations photovoltaïques.

Un taux occultation inférieur à 40% permet, d'après les modélisations issues de la littérature scientifique, des effets sur les milieux aquatiques modérés voire non significatifs. Le recouvrement global du parc prévu dans le cadre de ce projet est estimé à 36%, soit < 40%. De plus, la structure de la centrale flottante n'engendre pas une occultation totale de la zone en eau. En effet, il persiste des espacements entre chaque panneau permettant à la lumière de pénétrer dans la colonne d'eau sous la plateforme solaire. Concernant la solution technique « Hydrelio » développée par la société Ciel&Terre (présentée dans le cadre de ce projet), le taux de recouvrement réel en tenant compte des différentes zones de jour (Figure 9) est d'environ 80%, dont une occultation maximale de 89% sous les panneaux. **Ainsi, en tenant compte de ces zones ajourées, le recouvrement réel des deux centrales flottantes sur la surface en eau est de 28.8%**



Faucardage/arrachage avant travaux :

A l'heure actuelle, nous ne disposons pas d'informations suffisamment étayées permettant d'évaluer l'impact potentiel des PV flottants sur la végétation aquatique. Cette impact a été jugé dans l'étude d'impact non significatif au vue des profondeurs estimées par les propriétaires du site. Il semble cependant, au vue des images aériennes les plus récentes (Figure 4) que le plan d'eau sud présente un recouvrement végétal significatif, y compris dans les zones potentielles d'implantation du dispositif. Cette information reste encore à confirmer.

Si c'était le cas, il est peu probable que les espèces végétales présentes revêtent un enjeu environnemental particulier, étant donné le peu d'ancienneté du milieu et ses caractéristiques. Dans le cas où des herbiers d'espèces avec peu d'enjeu seraient bien présentes au droit des zones d'implantation des PV flottants, le recouvrement de 5.9 ha de la surface du plan d'eau sud pourrait avoir un impact sur l'équilibre du milieu. En effet, l'ombrage généré par les PV devrait provoquer une dégénérescence des herbiers situés sous leur emprise. Cette matière organique en excès, lors de sa dégradation (reminéralisation bactérienne) pourrait provoquer un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau, pouvant potentiellement mettre en danger d'anoxie tous les organismes aquatiques du plan d'eau.

Pour prévenir cette problématique, un faucardage ou un arrachage mécanique des herbiers de macrophytes situés sous l'emprise des flotteurs est préconisé en amont de leur installation (Figure 11). Cette opération de faucardage devra être réalisée avant le mois de février de l'année des travaux afin :

- D'éviter le dérangement et la destruction d'espèces et/ou de pontes sur les herbiers qui seront détruits ;
- D'éviter la repousse printanière des herbiers.

Cette mesure permet donc de réduire l'impact du projet à deux niveaux :

- Réduire les apports de matières organiques suite à la dégradation des herbiers situés sous

l'emprise des structures flottantes ;

- Éviter la destruction de ponte potentielle d'espèces d'intérêt.

Sur les bases de ces mesures les impacts résiduels ont été estimés en complément du travail principale fait dans l'étude d'impact.

Végétation aquatique

Dans l'étude d'impact, le chapitre 2.5.1 conclut par un impact non significatif du projet sur les herbiers aquatiques à Potamot luisant. Il nous semble utile de tempérer ces conclusions. En effet, il paraît clair que les deux plans d'eau ont des caractéristiques spécifiques. Le plan d'eau sud, plus ancien (fin d'exploitation en 2012, source SMEG) semble être à un stade d'évolution plus avancé que le plan d'eau nord (fin d'exploitation en 2018). L'eau semble moins turbide, la végétation aquatique plus développée, et la profondeur de ce plan d'eau semble également plus faible que celle du bassin nord. Toutes ces indications laissent à penser que la végétation aquatique pourrait être significativement développée *a minima* sur le plan d'eau sud. Ces informations restent à vérifier. Deux hypothèses peuvent donc être formulées :

- Les deux plans d'eau sont, comme l'estiment les propriétaires de la zone d'étude, d'une profondeur atteignant 6 à 8 m dans les zones d'implantation prévue des panneaux : **l'impact sur la végétation aquatique serait non significatif**, puisque des mesures d'évitement consistant en la préservation des zones les plus biogènes (berges, hauts fonds et anses) ont été prévues dans l'étude d'impact.
- L'un des deux voir les deux plans d'eau ne sont finalement pas profonds, et présentent des profondeurs maximales inférieures à 3 m (ce qui semble être le cas pour le plan d'eau sud), ce qui aurait (ou pourrait) favorisé le développement d'une végétation aquatique dont le recouvrement et la composition restent à déterminer. **Dans ce cas, l'impact résiduel de l'implantation des PV flottant est considéré comme faible** au vu des mesures d'évitement des zones les plus biogènes et du pourcentage de recouvrement modéré du plan d'eau.

Phytoplancton

Le phytoplancton n'a pas fait l'objet d'une étude des impacts résiduels dans l'étude d'impact. Au vu des éléments extraits de l'étude bibliographique effectuée, et sans plus d'éléments sur la composition de ce compartiment dans les deux plans d'eau, plusieurs hypothèses peuvent être formulées :

- **L'impact résiduel sera non significatif à faible** compte tenu du recouvrement modéré des PV sur les plans d'eau et des mesures d'évitement et de réduction proposées ;
- **L'impact résiduel pourrait être significatif** si une chute de la biomasse et un changement de la composition des communautés est observée en réponse à la réduction du PAR4. Une perte de la disponibilité lumineuse peut induire le développement de cyanobactéries et de diatomées potentiellement toxigènes.

Faune aquatique

Peuplement piscicole

Dans l'étude d'impact, le chapitre 2.5.2 n'aborde pas le compartiment poisson. Un premier inventaire a été dressé, mettant en évidence une faible diversité et l'absence d'espèce à enjeu patrimonial ou écologique. **Au regard des deux peuplements en place et du dimensionnement du projet, les impacts résiduels sur ce compartiment sont donc considérés comme non-significatifs.**

Macrofaune benthique

L'étude d'impact n'a également pas fait mention du compartiment macrofaune benthique. Si peu d'informations ont pu être mises à jour sur cet élément, il est possible que le projet ait un impact résiduel sur ces organismes. Deux hypothèses peuvent être formulées :



- **L'impact résiduel sera non significatif à faible** compte tenu du recouvrement modéré des PV sur les plans d'eau et des mesures d'évitement et de réduction proposées ;
- **L'impact résiduel pourrait être significatif, soit négativement** (par exemple altération des herbiers qui constituent un refuge pour ces organismes) **soit positivement**, du fait de la création de nouveaux supports de colonisation (flotteurs, ancres) diversifiant le substrat majoritairement composé d'argiles et de sable peu biogènes.

Pour rappel, un protocole de suivi a été proposé par Aquascop et sera mis en œuvre par le porteur de projet afin de suivre l'évolution des milieux aquatiques. Les résultats de ces analyses menées au cours de la durée de vie du projet seront suivis par le comité de suivi évoqué au début de ce rapport.

La présence de nombreuses espèces exotiques envahissantes sur le site et l'implantation de la centrale solaire engendrent le risque de faciliter l'invasion de ces EEE, lors de la phase chantier.

Les espèces exotiques envahissantes ont bien été identifiées lors de l'état initial de l'étude d'impact et des inventaires faune/flore menés sur site. Des mesures ont été définies pour limiter la propagation des ces espèces.

Sur les espèces invasives (EEE)

Afin de prévenir l'implantation et la colonisation par les EEE des mesures de réduction ont été définies. Les mesures sont les suivantes :

- Interdiction d'apport de terre exogène ;
- Connaissance de l'origine des matériaux de remblais (si remblais nécessaires) ;
- Nettoyage des engins (pneus) avant leur entrée sur le site ;
- Limitation de la durée durant laquelle le sol est laissé à nu, en particulier au printemps et en été ;

En cas de pousse d'espèces exotiques envahissantes après le chantier, intervention rapide pour éviter la prolifération des espèces.

La zone d'implantation du projet abritant des espèces remarquables (avifaune) dont certaines sont protégées au titre de la réglementation, l'obtention pour le présent projet d'une dérogation pour la destruction, l'altération ou la dégradation de sites de reproduction ou d'aires de repos d'espèces animales protégées, au titre de l'article L.411.2 du Code de l'environnement, apparaît nécessaire pour plusieurs espèces.

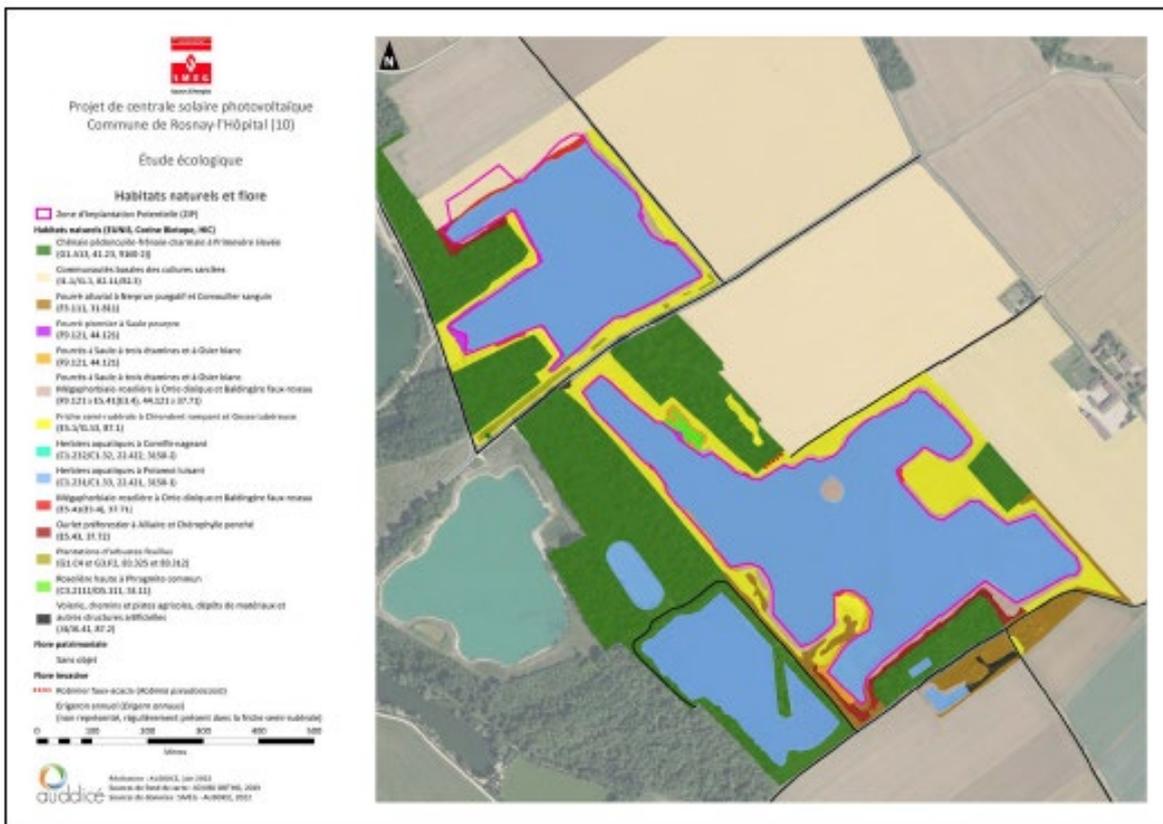
Ce dossier intégrera des actions de conception préliminaires ainsi qu'un plan de gestion notamment en ce qui concerne les espèces invasives (faune et flore).

Pour limiter la colonisation par les robiniers pseudo acacias

L'objectif de cette mesure est de permettre l'expression d'un boisement plus riche d'un point de vue de sylvicole et floristique. Les impacts indirects et temporaires sur les boisements et ses zones adjacentes d'intérêt comme les roselières risquent de modifier la dynamique écologique en faveur des plantes exotiques envahissantes. Pour ce faire les 15 plus gros sujets ou menaçant de coloniser les zones proches seront traités.

La mesure sera réalisée via l'écorçage des sujets adultes. Le but de technique est de couper la circulation de sève élaborée vers les racines pour accélérer la sénescence de l'arbre en limitant sa faculté à rejeter.

Il consiste à enlever une bande d'une quinzaine de centimètres d'écorce sur la circonférence de l'arbre à hauteur d'homme. Cette intervention est pratiquée par un opérateur muni d'une plane ou d'une serpette. Durant les trois années qui suivent l'écorçage, au moins deux passages annuels sont prévus pour arracher rejets et gourmands qui repartent depuis la souche et le tronc afin d'empêcher toute photosynthèse. Bien écorcer le pourtour supérieur de la souche jusqu'au cambium (couche de cellules entre le bois et le liber où circule la sève). Un minimum de 15 sujets seront ainsi traités initialement, les passages ultérieurs servant à compléter cette opération si le sujet a repris, ou pourra permettre l'écorçage de sujets supplémentaires. La zone d'intervention a d'ores et déjà été réperée par AUDDICE ENVIRONNEMENT.



Laisser sur place l'arbre écorcé participera à enrichir l'habitat en bois mort sur pied.

Dans le plan de gestion joint à notre dossier de dérogation espèces protégées. La mesure MC07 : Gestion des espèces exotiques envahissantes détaillées p187 de la DDEP viennent à mitiger notablement à cet impact en réduisant grandement les risques.

Par ailleurs les modes de gestions retenus sur l'intégralité du site ainsi que leur suivi favoriseront l'implantation d'habitats naturels objectifs et une vigilance sera maintenue sur le site, avec des obligations d'intervention si cela est nécessaire, vigilance qui ne pourra pas être maintenue sur ce site abritant déjà des espèces exotiques envahissantes en absence de projet. Le suivi des mesures est détaillé au paragraphe Liste de mesures ERCA supplémentaire et détail des protocoles de suivi.

MC07					Gestion des espèces exotiques envahissantes				
Principe et intérêt		<p>Limiter la colonisation du site et la compétition par les espèces exotiques envahissantes afin de favoriser les espèces patrimoniales.</p>							
Espèces ou cortèges concernées		<p>Cortège des oiseaux nichant dans les berges, accrochant son nid aux herbiers, et chassant en eau libre</p> <p>Autres groupes : cortège des oiseaux de lisières, forestiers jeunes ou ouverts, fourrés ; cortèges des chiroptères des milieux forestiers (humides ou non) en chasse ; cortèges des chiroptères de lisières/bocage en chasse et en transit, flore, cortège des insectes de ripisylves, bords de cours d'eau/rû ; flore ; cortège des oiseaux de fourrés et haies en milieu ouvert (structure prairies/pelouses/haies/agricoles) ; cortège des oiseaux nichant dans les berges et chassant à l'affut ; cortège des oiseaux hivernants de plans d'eau ; cortège des oiseaux aquatiques nichant et chassant dans les roselières ; cortège des chiroptères de vallées/cours d'eau en chasse et en transit ; cortège des chiroptères ubiquistes et anthropophiles, amphibiens, reptiles.</p>							
Surface concernée		Ensemble du site							
Localisation		Ensemble du site							
Objectifs de la mesure		Milieu initial		Actions		Milieu projeté		Gains fonctionnels attendus	
		Milieu dégradé du fait de la présence d'espèces exotiques envahissantes		Lutte contre les espèces exotiques envahissantes : annelation, piégeage, pêche.		Milieu en meilleur état de conservation		Zones d'alimentation de reproduction pour tous les cortèges cibles	
Gestion et lutte contre les espèces exotiques envahissantes									

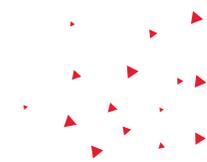
MC07		Gestion des espèces exotiques envahissantes	
Spécifications techniques et mise en œuvre	Robinier (<i>Robinia pseudoacacia</i>)		
	<p>Une lutte mal planifiée peut s'avérer contreproductive car à chaque fois qu'on abat un sujet, celui-ci produit rapidement de nombreux rejets de souche voire des racines. Afin d'éviter l'apparition de ces rejets, la méthode de l'annelation semble la plus adaptée :</p> <p>- 1^{ère} année : cerclage partiel en hiver (février) - enlever à une hauteur d'environ 1,50 m et sur une largeur d'environ 15 cm l'écorce et les premières couches du bois sur environ 9/10 de la circonférence. Une partie de la sève circule toujours, elle alimente l'arbre mais ne permet plus la formation de réserves ;</p> <p>- 2^{ème} année : cerclage complet en début d'été (juin) après apparition des feuilles et inflorescences - enlever le 1/10 restant.</p> <p>Ici, les Robiniers seront conservés en tant qu'arbres morts sur pied afin d'offrir des micro-habitats à la biodiversité.</p> <p>Remarques : un échange de réserves est possible entre les arbres, il est donc conseillé d'anneler tous les Robiniers dans une population ; l'annelation complète doit éventuellement être répétée sur plusieurs périodes de végétation jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de formation de calles ou de pousses sur le tronc ; il est recommandé d'éviter de blesser les racines à la surface du sol ; des contrôles et l'arrachage d'éventuels repousses restent nécessaires</p> <p>Si les interventions sur ces espèces exotiques nécessitent la coupe de branches ou de troncs, le bois coupé sera systématiquement exporté en déchèterie pour être détruit ou broyés sur place. Les coupes seront à éviter en période de dissémination des graines. Les résidus de coupes ne seront pas utilisés pour les hibernacula.</p>		
		Perche-soleil (<i>Lepomis gibbosus</i>)	
<p>Cette espèce sera pêchée lors d'une (ou plusieurs selon les résultats de suivi d'ADN environnemental) pêche(s) organisée(s) en partenariat avec la Fédération de pêche départementale et l'AAPPMA locale. Les espèces visées seront ainsi capturées et éliminées. Cette pêche se fera sous la présence d'un écologue qui contrôlera les spécimens pêchés.</p>			

MC07	Gestion des espèces exotiques envahissantes
	<p>Des campagnes de piégeages des Perches soleil à l'aide de nasses à deux entrées peuvent également être établies. Les piégeages seront à réaliser au printemps, afin de capturer les individus matures avant leur reproduction.</p> <p>Silure glane (<i>Silurus glanis</i>), et Carpes (<i>Cyprinus sp</i>)</p> <p>Ces espèces seront pêchées lors d'une (ou plusieurs selon les résultats de suivi d'ADN environnemental) pêche(s) organisée(s) en partenariat avec la Fédération de pêche départementale et l'AAPPMA locale. Les espèces visées seront ainsi capturées et éliminées. Cette pêche se fera sous la présence d'un écologue qui contrôlera les spécimens pêchés.</p> <p>Les pourtours du site seront entièrement clôturés, Des passages pour la petite faune seront installés ponctuellement en bas des clôtures afin de garantir la perméabilité écologique du plan d'eau.</p> <p>Ecrevisse de Louisiane (<i>Procambarus clarkii</i>)</p> <p>La DDT doit être prévenue de la présence de l'Ecrevisse de Louisiane. Cette espèce sera piégée par nasse au printemps et en été (période où elle est la plus active). Elle sera également visée par les pêches à réaliser avec la Fédération de pêche départementale et l'AAPPMA locale. Ses terriers seront détruits par curages. Sa présence est à surveiller de manière attentive, car en plus d'être porteuse de pathogènes pour les amphibiens et les Ecrevisses locales ; elle provoque des dégâts sur les herbiers aquatiques et les berges. Afin d'éviter le transport de larves d'Ecrevisse, les poissons pêchés dans le cadre des pêches de lutte contre les espèces exotiques, devront être détruits ou consommés tout de suite après la pêche.</p> <p>Ragondin (<i>Myocastor coypus</i>)</p> <p>Le piégeage de Ragondins devra être déclaré à la mairie de Rosnay I-Hôpital. Les piégeages auront lieu au printemps et durant l'été à l'aide de cages-pièges à double entrée (pièges de catégorie 1). Ces dernières seront à visitées chaque matin et ne nécessite pas d'agrément de piégeur. Cela pourra être réalisé par la fédération de chasse qui aura la charge de les tuer, immédiatement et sans souffrance, une fois qu'une délégation de droit de destruction sera établie. Cette destruction sera effectuée à l'aide d'un tir unique, réalisé le plus loin possible des plans d'eau afin de ne pas perturber</p>

MC07	Gestion des espèces exotiques envahissantes																																																																																																		
	<p>les reproductions des espèces. Le tir à vue, hors piège, n'est pas autorisé afin de ne pas perturber la reproduction des espèces vivant sur le site. Les Rats musqués fréquentant le site et capturés dans les pièges seront également tués sans souffrance.</p> <p>Pour mémoire : Conyze du Canada (<i>Erigeron canadensis</i>) et Erigeron annuel (<i>Erigeron annuus</i>)</p> <p>Bien que n'ayant pas encore colonisées le site, ces deux espèces sont présentes à proximité et pourront à terme arriver spontanément sur site. En cas d'apparition de nouvelles stations, il sera nécessaire d'arracher les nouveaux plants en combinant cela à une fauche. Cette fauche sera à réaliser avant la floraison, et les arrachages seront à effectuer toutes les 3 semaines entre mai et octobre.</p>																																																																																																		
Planning d'intervention	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Action</th> <th>Fréquence</th> <th>J</th> <th>F</th> <th>M</th> <th>A</th> <th>M</th> <th>J</th> <th>J</th> <th>A</th> <th>S</th> <th>O</th> <th>N</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Annélation des Robiniers</td> <td>Dès que nécessaire</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piégeage et nasses à écrevisse</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piégeage Ragondin</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pêche à la Carpe</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pêche au Silure</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Piégeage perche soleil</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Action	Fréquence	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annélation des Robiniers	Dès que nécessaire													Piégeage et nasses à écrevisse														Piégeage Ragondin														Pêche à la Carpe														Pêche au Silure														Piégeage perche soleil													
Action	Fréquence	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D																																																																																						
Annélation des Robiniers	Dès que nécessaire																																																																																																		
Piégeage et nasses à écrevisse																																																																																																			
Piégeage Ragondin																																																																																																			
Pêche à la Carpe																																																																																																			
Pêche au Silure																																																																																																			
Piégeage perche soleil																																																																																																			

MC07		Gestion des espèces exotiques envahissantes													
	Pêche à la perche soleil														
	Fauche concernant le Conyze du Canada et l'Erigeron annuel														
	Arrachage de la Conyze du Canada et de l'Erigeron annuel	Toutes les trois semaines entre mai et octobre													
Estimation financière	Les coûts prévisionnels de la mesures sont de 77 500 € HT sur 35 ans:														
Suivi															
Critères d'évaluation de l'avancement de la mesure	Objectifs de moyens	Indicateurs				Protocole de suivi									
	Mise en place de travaux	Travaux réalisés				Bons de travaux									
Critères d'évaluation de l'efficacité de la mesure	Objectifs de résultats	Indicateurs				Protocole de suivi									
	Lutte contre le Robinier faux-acacia	Absence d'apparitions de nouvelles stations de Robiniers, annélation de l'ensemble des sujets existants				Inventaires floristique et habitats									

MC07		Gestion des espèces exotiques envahissantes		
	Lutte contre les espèces animales exotiques envahissantes (Ecrevisse de Louisiane, Silure, Perche-soleil, Ragondin, Carpes)	Absence de l'espèce sur site ; absence d'apparition de nouveaux individus	Relevé d'ADN environnemental	



L'urgence de s'affranchir au plus vite des énergies fossiles par le développement d'énergies qualifiées de « vertes » doit se faire en cohérence avec la crise climatique. Cela ne peut se faire au détriment des écosystèmes et de la biodiversité qu'ils hébergent. Les documents d'urbanisme qui encadrent le développement des parcs photovoltaïques, soulignent l'importance de reconquérir les zones industrielles artificialisées. Or les gravières visées par le projet apportent aujourd'hui un lieu de nidification, un terrain de chasse et des aires de repos non négligeables pour plusieurs taxons. Ce milieu aquatique est en plus situé en plaine de Brienne où l'eau de la nappe a été rendue affleurante lors de l'exploitation de matériaux. La qualité de l'eau étant un enjeu important sur ce territoire, doit être préservée.

Comme expliqué au début du document, le projet de centrale photovoltaïque flottante de Rosnay-l'Hôpital s'inscrit dans un contexte de transition énergétique et de développement des énergies renouvelables au niveau national et même européen, décliné au niveau local pour encourager le développement des énergies renouvelables sur les territoires.

Nous rejoignons entièrement la position du CSPRN quant à la nécessité de s'affranchir au plus vite des énergies fossiles.

Le site choisi par le porteur de projet est une ancienne gravière, ancien site industriel remis en état après la fin de l'exploitation pour l'extraction de matériau. Ce choix de site est encouragé au national, notamment dans les cahiers des charges des appels d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie. De plus, comme le mentionne le CSTRPN, «les documents d'urbanisme qui encadrent le développement des parcs photovoltaïques, soulignent l'importance de reconquérir les zones industrielles artificialisées. »

Pour autant, la démarche d'évaluation des impacts dans l'étude d'impact sur l'environnement requise doit être menée précisément. Ce travail a été fait par le porteur et a été instruit par la DDT.

Sur la question de l'utilisation des gravières en lieu de nidification, terrain de chasse et aire de repos, le volet biodiversité de l'étude d'impact traite de ce point et dossier de dérogation espèces protégées y est quasiment exclusivement dédié. Ces deux documents comprennent une évaluation de l'état initial, des propositions de mesures ERCA et des propositions de suivi en phase d'exploitation. Nous rappelons également la proposition de mise en place d'un comité de suivi pour la phase d'exploitation.

Sur la question de la nappe de Brienne affleurante, ce point ne fait pas partie du périmètre de la dérogation espèces protégées. Il revient à la DDT, lors de l'instruction de la demande de permis de construire, d'évaluer les impacts du projet sur la nappe de Brienne. La partie « 2.4 Eaux souterraines et hydrogéologie » de l'état initial de l'étude d'impact traite largement de ce point. La question des eaux souterraines représentent effectivement un enjeu fort pour le site. Les impacts après mesures du projet sur ces eaux sont négligeables (pages 299 et 300 de l'étude d'impact sur l'environnement).

LISTE DE MESURES ERCA SUPPLEMENTAIRES ET DETAIL DES PROTOCOLES DE SUIVI

A3.c - Mesure de diversification de berge en faveur des amphibiens

Type		Phase	Thématique écologique
Accompagnement	Technique Permanent	Chantier	Amphibiens

Objectif et description de la mesure

L'objectif est de créer une morphologie de berges favorables aux amphibiens, et en particulier au Crapaud calamite sur le plan d'eau Nord. La mesure aura également pour conséquence de varier les stades de végétation sur le plan d'eau Nord, améliorant au passage, sa qualité écologique globale.

La mesure consiste en un dessouchage, sur un linéaire de 100m de saules à l'angle Nord-Est du plan d'eau Nord. La majorité du périmètre du plan d'eau ayant été colonisé de manière uniforme, relancer une dynamique végétale en perturbant le caractère rectiligne des berges actuelles générera des micro habitats favorables aux amphibiens.

Planification et structures en charge

Cette mesure est à prendre en compte dans la conception du chantier et sera à appliquer lors de la phase de défrichage ou de terrassement. Il s'agit d'une mesure permanente.

Suivi (moyens mis en œuvre et résultats)

Objectif	Indicateur de suivi	Protocole de suivi	Fréquence du suivi	Calendrier
Vérifier le respect des prescriptions	Conformité de l'implantation réelle du projet avec les éléments prévisionnels	Suivi en phase chantier ET Suivi naturaliste du site et de la fonctionnalité des mesures. Vérification de la bonne réalisation de l'opération	8 sorties réparties sur l'ensemble du chantier. Suivi de la fonctionnalité des mesures ERC : N1, N3, N5, N10, N15, N20, N25, N30	
Structures en charge de la mise en œuvre :		Mise en place : Entreprise en charge du terrassement global du chantier Suivi : Structure en charge du suivi de chantier et Bureau d'étude en charge du suivi écologique		

R2.2d - Avertisseur visuel

Type		Phase	Thématique écologique
Réduction	Technique Permanent	Chantier	Avifaune

Objectif et description de la mesure

Le cahier des charges pour la constitution est adapté à partie de l'étude de 2022 Martin, Graham R [5].

L'exigence de base est de prendre un oiseau à forte vitesse, faible manœuvrabilité, faible vision et pour lequel il existe de nombreuses données de recherche en termes d'optique et de comportement (Bernache

du Canada). L'établissement d'une mesure fonctionnelle pour cette espèce garantie la bonne fonctionnalité de la mesure pour des espèces à plus faible vitesse, meilleure manœuvrabilité ou meilleure vue. Il faut que l'avertisseur visuel soit détectable par une Bernache du Canada volant au crépuscule à une distance suffisante pour permettre à l'oiseau de changer de cap et d'éviter une collision.

Ainsi la mesure prévoit d'entourer chaque flotteur des panneaux photovoltaïques de bandes de 15 à 16cm en noir et blanc (prenant en compte la gamme ultraviolette proche). Ces bandes (ou des motifs quadrillés de 3cases par 3 cases) seront à répéter tous les 12,5 m maximum à l'intérieur des flotteurs.

Un travail sera mis en œuvre avec le fournisseur de flotteurs pour étudier la faisabilité de cette mesure.

Planification et structures en charge

Cette mesure est à prendre en compte dans la phase de construction, les flotteurs devront être installés avec les avertisseurs préalablement installés. Il s'agit d'une mesure permanente.

Suivi (moyens mis en œuvre et résultats)

Objectif	Indicateur de suivi	Protocole de suivi	Fréquence du suivi	Calendrier
Vérifier le respect des prescriptions	Conformité de l'implantation réelle du projet avec les éléments prévisionnels techniques	Suivi en phase chantier	8 sorties réparties sur l'ensemble du chantier.	
Structures en charge de la mise en œuvre :		Mise en place : Entreprise en charge de la construction ou de l'installation des panneaux Suivi : Structure en charge du suivi de chantier		

Détail du suivi

Suivi en phase chantier : N0

La réalisation d'un suivi de chantier par un écologue permet de vérifier la bonne mise en place et l'efficacité des mesures en phase chantier. Il sensibilise, si possible le personnel de chantier au respect des mesures ou réfère des problématiques au maître d'ouvrage ainsi qu'au maître d'œuvre. Un compte-rendu régulier devra être réalisé au long de l'avancée du chantier.

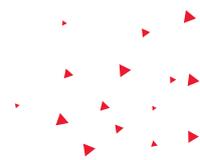
Huit sorties de suivi sont réparties tout au long de la réalisation du chantier par un écologue.

Suivi naturaliste du site et de la fonctionnalité des mesures : N1, N3, N5, N10, N15, N20, N25, N30

Pendant la phase exploitation, un suivi écologique du site est réalisé. Seront évalués les différents compartiments de la biodiversité du site, leur évolution, ainsi que la fonctionnalité des mesures mises en place. Ce suivi inclut la réalisation d'inventaires faune et flore à chaque sortie. Le suivi des mesures a pour objectif de vérifier le respect des prescriptions et l'efficacité des mesures proposées. Il permet de conclure sur l'atteinte ou la bonne trajectoire d'atteinte des objectifs des mesures. Dans le cas où les objectifs ne sont pas atteints, le porteur de projet doit adapter les mesures.

- Sur chaque année de suivi, 3 sorties étalées dans des périodes favorables à la majorité de la faune et de la flore (15 mars – 15 août) seront à réaliser.
- Un protocole de suivi de la faune par ADN environnemental sera à mettre en place sur chaque plan d'eau lors de chaque année de suivi en exploitation. Les taxons étudiés a minima seront : piscifaune, mollusques amphibiens.

ANNEXE : ETUDE COMPLEMENTAIRE SUR LA VIE AQUATIQUE MENEES PAR AQUASCOP



INSTALLATION D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE SUR LA COMMUNE DE ROSNAY-L'HÔPITAL (10)

Prestation d'expertise technique complémentaire sur le volet milieu aquatique

Décembre 2023



INSTALLATION D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE SUR LA COMMUNE DE ROSNAY-L'HÔPITAL (10)

Prestation d'expertise technique complémentaire sur le volet milieux aquatique

Décembre 2023

Version	Date	Nom du (des) rédacteur(s)	Nom du vérificateur
V1	15/12/2023	Amandine LERUSTE-CALPENA	Arnaud CORBARIEU

Sommaire

1. PRESENTATION D'AQUASCOP	6
1.1. Domaines d'intervention et d'expertises	6
1.2. Savoirs-faire et références en solaire flottant	6
2. PROJET DE CENTREALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE, COMMUNE DE ROSNAY L'HÔPITAL	9
2.1. Etat initial et enjeux.....	9
2.1.1. Contexte	9
2.1.2. Etat initial de la zone d'étude.....	11
2.1.2.1. Habitats et espèces d'intérêt	11
2.1.2.2. Incertitudes liées aux milieux aquatiques	13
2.1.2.3. Synthèse.....	15
2.2. Evaluation des impacts potentiels sur les milieux aquatiques	15
2.2.1. Généralités sur les milieux lacustres.....	15
2.2.2. Conséquences de la présence des PV flottants	16
2.2.2.1. Qualité de l'eau	17
2.2.2.2. Compartiment phytoplanctonique	19
2.2.2.3. Compartiment macrophytique	21
2.2.2.4. Compartiment macrofaune benthique	22
2.2.2.5. Compartiment poisson	23
2.2.3. Conclusions sur le milieu aquatique	23
2.3. Point sur les autres compartiments pointés par le CSRPN Grand-Est.....	24
2.3.1. Impacts sur l'entomofaune	24
2.3.2. Impacts sur l'avifaune et les chiroptères	25
3. MESURES D'EVITEMENT ET DE REDUCTION	26
3.1. Mesures d'évitement et de réduction	26
3.2. Impact résiduel	29
3.2.1. Végétation aquatique et habitats	29
3.2.2. Faune aquatique	30
4. PROPOSITIONS DE SUIVI	31
4.1. Définition de la qualité physico-chimique des milieux aquatiques	31
4.1.1. Campagnes de mesure	31
4.1.1.1. Point de mesure	31
4.1.1.2. Mesures des paramètres in situ	31
4.1.1.3. Prélèvements d'eau et paramètres analysés	32
4.1.2. Prélèvements de sédiments et paramètres analysés.....	33
4.1.3. Conditionnement, transport et analyses en laboratoire	34

4.2. Compartiment phytoplancton	34
4.2.1. Méthode	34
4.2.2. Enregistrement des échantillons	35
4.2.3. Dénombrements	35
4.2.4. Calcul de l'IPLAC	35
4.3. Compartiment zooplancton	36
4.3.1. Prélèvement	36
4.3.2. Enregistrement des échantillons	36
4.3.3. Dénombrements	36
4.4. Habitats et végétation aquatique	37
4.4.1. Habitats et végétation rivulaire	37
4.4.2. Habitats et herbiers de macrophytes en pleine eau	37
4.5. Compartiment piscicole (option)	40
4.5.1. ADN environnemental	40
4.5.2. Pêches d'inventaires	42
4.5.2.1. Autorisations réglementaires	42
4.5.2.2. Pêche aux filets maillants	42
4.5.2.3. Pêche électrique de la zone littorale	45
4.6. Prestations par drone (option)	47
4.7. Synthèse des prestations de suivi	48
4.8. Adaptation du suivi en phase exploitation	48
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49

Liste des figures et tableaux

Figure 2. Localisation des projets d'installation de panneaux photovoltaïque ayant bénéficié d'un accompagnement d'Aquascop.	7
Figure 1. Evolution du nombre d'études réalisées sur des projets de panneaux photovoltaïques flottants.	7
Figure 3. Des sites aux caractéristiques morphologiques variés ; A : gravière récente en fin d'exploitation, B : retenue collinaire d'irrigation, C : retenue artificielle hydroélectrique.	8
Figure 4. Etude diachronique sur la base de vues aériennes disponibles sur le site Géoportail.fr. A : Vue aérienne période 1950-1965 ; B : Vue aérienne en décembre 12/2005 ; C : Vue aérienne du 15/08/2009 ; D : Vue aérienne du 26/05/2012 ; E : Vue aérienne en juillet 2015 ; F : Vue aérienne en octobre 2018 ; G : zoom sur plan d'eau sud, octobre 2018 ; H : Vue aérienne en juillet 2022.	10
Figure 5. Synthèse des habitats naturels et flore recensés dans la zone d'étude. Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.	12
Figure 6. Synthèse des enjeux « autres faunes » incluant reptiles, mammifères, insectes et amphibiens (excluant les oiseaux et Chiroptères). Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.	13
Figure 7. Synthèse des enjeux avifaunistiques. Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.	14
Figure 8. Schématisation du fonctionnement simplifié d'un plan d'eau stratifié.	16
Figure 9. Vue aérienne de la structure des panneaux flottants (solution Hydrelia de Ciel&Terre). Des zones de jour sont présentes, et doivent être retirées du pourcentage de recouvrement pour obtenir le pourcentage de recouvrement réel de la structure sur la masse d'eau. Tiré du permis de construire du projet.	27
Figure 10. Réduction du taux d'occlusion du projet après mise en œuvre de la mesure de réduction MR1	28
Figure 11 : faucardage mécanique d'un étang (source : etang-solution.com)	29
Figure 12. Matériel de mesure in situ, Echosondeur pour rechercher la plus grande profondeur à gauche, sonde multiparamètres à droite.	32
Figure 13. Bouteille à prélèvement en profondeur (prélèvements d'eau)	33
Figure 14. Colonie de <i>Pediastrum</i> à gauche, et colonne de sédimentation de 10 ml à droite (CP. Aquascop)	35
Figure 15. Exemple de cellules zooplanctoniques identifiées : Protozoaire vu au microscope à gauche, <i>Bosmina longirostris</i> à droite (CP. Aquascop)	37
Figure 16. Prospection à pied de la végétation aquatique rivulaire à l'aide d'un râteau et d'un bathyscope .	37
Figure 17. Prélèvement de macrophytes au grappin et au râteau.	38
Figure 18. Synthèse cartographique : A. Cartographie de la végétation aquatique ; B. Plan d'échantillonnage régulier en plan d'eau ; C. Cartographie des espèces végétales envahissantes.	39
Figure 19. Principe d'échantillonnage d'ADNe en milieu stagnant	41
Figure 20. Extraction de l'ADNe et amplification pour analyse	41
Figure 21. Pêche au filet maillant : A. Schéma de la pose d'un filet benthique ; B. Exemple de filet benthique posé à faible profondeur ; C. Exemple de relève d'un filet benthique.	43
Figure 22. Installation d'un poste de démaillage et remise à l'eau d'un brochet encore en vie	44
Tableau 1. Paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau des plans d'eau nord et sud, en avril et septembre 2021. Le code couleur illustre les classes d'états pour les paramètres dont des seuils sont définis par l'arrêté du 9 octobre 2023.	17
Tableau 2. Synthèse des impacts potentiels des PV flottants sur le milieu aquatique	24
Tableau 3. Limites de quantification des relevés physico-chimiques in situ.	32
Tableau 4 : Synthèse des préconisations de suivi des milieux aquatiques	48

1. PRESENTATION D'AQUASCOP

Aquascop est un bureau d'étude spécialisé dans le domaine aquatique fondé en 1985. Depuis 38 ans, nous avons mis notre expertise au service de plus de 800 clients, dans tous les domaines liés au fonctionnement des milieux aquatiques. Nous développons en continu nos compétences en hydrobiologie, ingénierie des milieux aquatiques, cartographie, bancarisation de données, et développement d'outils informatiques. Répartie dans 4 agences (Montpellier, Toulouse, Angers et Nancy), notre société est en croissance maîtrisée, et regroupe aujourd'hui 67 collaborateurs (Annexe 1). Deux de nos laboratoires sont accrédités COFRAC¹.

A ce jour, nous avons participé à plus de 3300 études, et contribuons à plus de 330 études en cours, pour un chiffre d'affaire de 4.3 millions d'euros.

1.1. DOMAINES D'INTERVENTION ET D'EXPERTISES

Près de 50 spécialistes sont réunis pour vous apporter leur expertise en :

- Hydrobiologie : qualité de l'eau, indices biologiques diatomées, plancton, invertébrés, macrophytes, poissons et écrevisses (IBGN, IBG-DCE, IBD, IBMR, IPR), diagnostic d'eutrophisation, fonctionnement hydromorphologique, caractérisation des habitats aquatiques ;
- Gestion et restauration de cours d'eau et plans d'eau : études de faisabilité avant aménagement, renaturation, restauration de la continuité écologique, inventaire de zones humides ;
- Dossiers réglementaires : études d'impact, dossiers d'autorisation, expertises Natura 2000, renouvellements de titre ;
- Géomatique et informatique : conception et exploitation de bases de données, conception de logiciels, outils de cartographie interactive, hébergement de sites internet ;
- Communication et formation : documents de présentation (plaquettes), formation aux techniques de l'hydrobiologie.

1.2. SAVOIRS-FAIRE ET REFERENCES EN SOLAIRE FLOTTANT

Fort d'une longue expérience des suivis hydrobiologiques en rivières et plans d'eau (indices biologiques, inventaires piscicoles, suivis de frayères), Aquascop a réalisé de nombreuses études d'impacts et dossiers d'incidences. Les demandes relatives à l'installation de panneaux photovoltaïques sont en augmentation depuis 2017 (Figure 2). A ce jour, 25 sites ont été étudiés pour des projets d'installation de panneaux photovoltaïques, dans 17 départements répartis dans 8 régions (Figure 1), pour 13 porteurs de projets différents. La liste des références des dossiers d'installation de panneaux photovoltaïques accompagnés par Aquascop est disponible en Annexe 2 de ce dossier.

¹ Portées d'accréditation des sites d'Angers et de Montpellier disponibles sur le site www.cofrac.fr (accréditations N°1-2354 et n°1-6094)

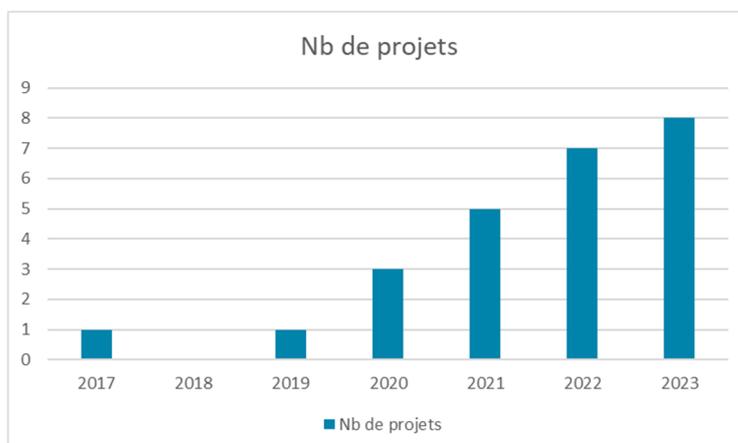


Figure 2. Evolution du nombre d'études réalisées sur des projets de panneaux photovoltaïques flottants.

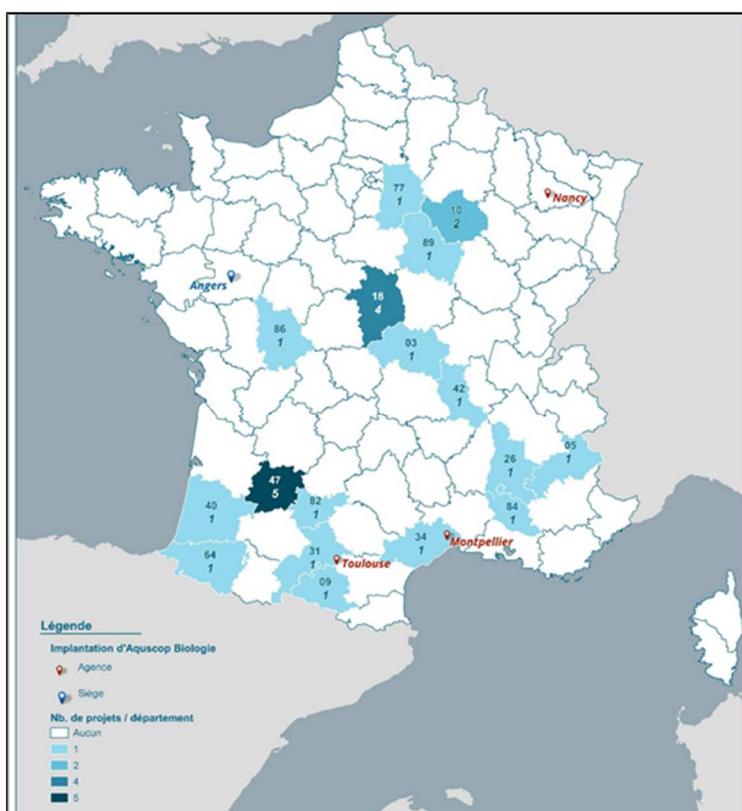


Figure 1. Localisation des projets d'installation de panneaux photovoltaïque ayant bénéficié d'un accompagnement d'Aquascop.

Les projets accompagnés par Aquascop depuis 2017 présentent des sites aux caractéristiques différentes (Figure 3), en termes de :

- Typologie (retenues hydroélectriques, bassins d'irrigation, anciennes gravières, anciens bras morts de cours d'eau, ...) ;
- Surface (de quelques hectares à plus de 50 ha) ;
- Profondeur (inférieure à 2 m à plus de 20 m) ;

- Degrés d'artificialisation (berges, marnage, *etc.*).

Ces caractéristiques définissent le fonctionnement des hydrosystèmes sur lesquels sont implantés les panneaux photovoltaïques. De par leur localisation variée, ces projets sont également impactés par la météorologie, la géologie, le contexte écologique (présences de zones, d'habitats, d'espèces à enjeux forts, ...), des mesures de protection, *etc.* Chaque étude est donc spécifique et nécessite une attention particulière.

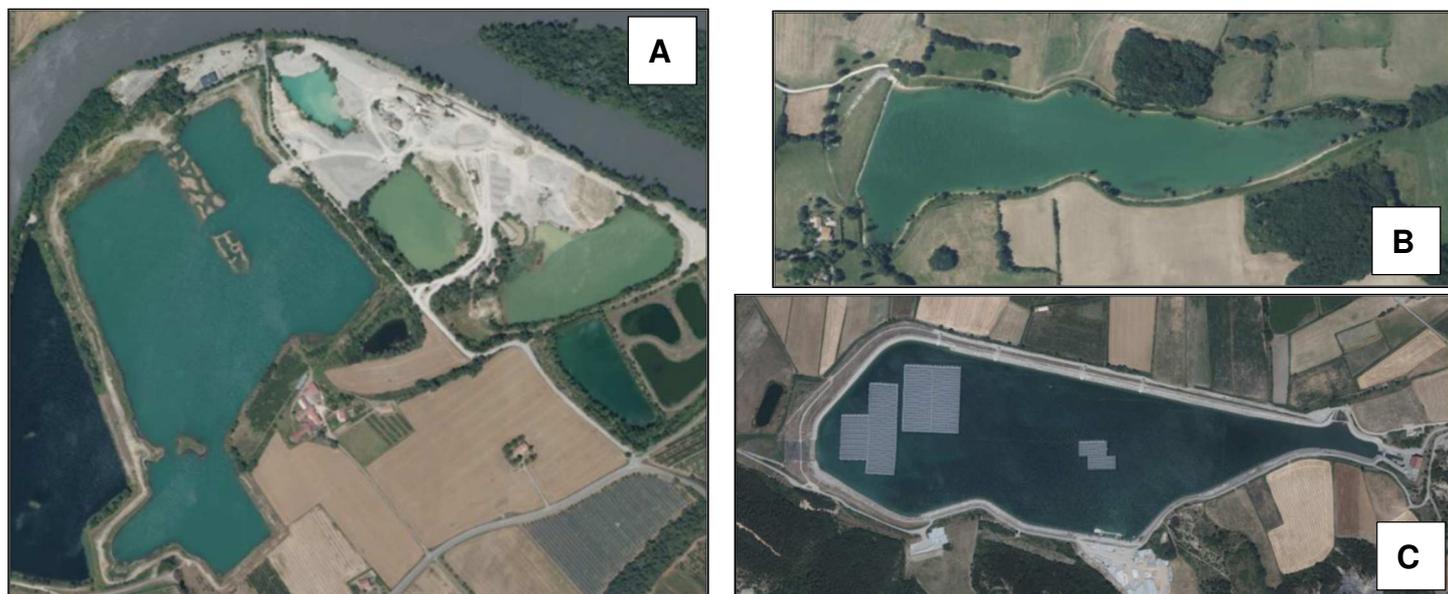


Figure 3. Des sites aux caractéristiques morphologiques variés ; A : gravière récente en fin d'exploitation, B : retenue collinaire d'irrigation, C : retenue artificielle hydroélectrique.

2. PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE, COMMUNE DE ROSNAY L'HÔPITAL

2.1. ETAT INITIAL ET ENJEUX

2.1.1. Contexte

La Société Monégasque de l'Electricité et du Gaz (SMEG) porte un projet d'implantation d'une centrale photovoltaïque flottante sur la commune de Rosnay-l'Hôpital, dans le département de l'Aube (10). L'implantation des panneaux photovoltaïques flottants serait réalisée au droit de deux plans d'eau issus de l'exploitation d'anciennes carrières (gravières). La surface de la zone de projet est d'environ 39 ha, au niveau du lieu-dit Les *Gallérandes*. Sur 26.9 ha de plan d'eau, les panneaux photovoltaïques recouvriront 9.7 ha.

Les deux plans d'eau sélectionnés pour l'implantation des panneaux photovoltaïques sont très récents. Une étude diachronique de la zone d'étude sur la base des vues aériennes disponibles sur le site Géoportail permet de dater approximativement l'apparition des gravières, leur durée d'exploitation, et la période de réhabilitation en plan d'eau (Figure 4). La zone d'étude est une zone agricole au moins jusqu'aux années 70 (Figure 4-A). Les gravières en exploitation et réhabilitées en plans d'eau apparaissent dans les années 2000. Concernant les deux plans d'eau sites d'implantation de la centrale PV flottante, la gravière sud semble être exploitée jusqu'à 2012 *a minima* (Figure 4-B à D) . La gravière nord apparaît dans la vue aérienne de 2009 ; et semble être exploitée jusqu'à 2015 *a minima* (Figure 4-C à E). La zone d'étude est toujours entourée d'une plaine agricole en exploitation intensive.



Figure 4. Etude diachronique sur la base de vues aériennes disponibles sur le site Géoportail.fr. A : Vue aérienne période 1950-1965 ; B : Vue aérienne en décembre 12/2005 ; C : Vue aérienne du 15/08/2009 ; D : Vue aérienne du 26/05/2012 ; E : Vue aérienne en juillet 2015 ; F : Vue aérienne en octobre 2018 ; G : zoom sur plan d'eau sud, octobre 2018 ; H : Vue aérienne en juillet 2022.

Ce projet a déjà fait l'objet d'une étude d'impact mise en œuvre par Ekos ingénierie, pour répondre aux obligations réglementaires du Code de l'environnement. Une expertise environnementale faune-flore réalisée par AUDDICE Environnement a donc été effectuée sur la durée d'un cycle biologique complet entre 2020 et 2021 (KRILOFF, 2022). Les objectifs de cette étude étaient de :

- Dresser un inventaire des espèces végétales et animales présentes sur l'aire d'étude ;
- Evaluer l'intérêt écologique du site et déduire les contraintes réglementaires potentielles pour le projet ;
- Analyser les impacts potentiels du projet sur le milieu naturel et contribuer à définir le projet de moindre impact ;
- Proposer d'éventuelles mesures visant à éviter, réduire ou compenser les impacts d'un tel projet ;

2.1.2. Etat initial de la zone d'étude

Par le biais de l'expertise environnementale, un état initial de la zone a été dressé. Des zones d'intérêt à enjeux forts, des habitats et espèces à enjeux écologiques et patrimoniaux ont été mis en évidence.

2.1.2.1. Habitats et espèces d'intérêt

Aux abords de la zone de projet, deux habitats déterminants ont été identifiés : Les prairies humides pâturées neutroclines à basiphiles, et les Prairies fauchées collinéennes eutrophiles. Ces habitats ne seront pas ou peu impactés à partir de la mise en exploitation de la centrale, la majorité de la surface occupée étant localisée au droit des plans d'eau.

Concernant les habitats aquatiques et rivulaires, les enjeux sont plus conséquents. Plusieurs habitats d'intérêt ont été recensés (Figure 5) :

- Un habitat à enjeu fort : Les herbiers aquatiques à Potamot luisant, présents sur les deux plans d'eau de la Zone d'implantation potentielle (ZIP), mais plus développés dans le plan d'eau sud dont l'exploitation est plus ancienne. Il joue un rôle déterminant d'habitat refuge pour une faune et une flore aquatique spécialisée.
- Deux habitats à enjeux modérés :
 - Les Roselières hautes à Phragmite commun ponctuellement présentes sur la ZIP, essentiellement localisés sur l'ancienne emprise du bassin de décantation de la carrière sur la rive nord-est du plan d'eau sud et de manière très ponctuelle sur les rives. ;
 - Les Herbiers aquatiques à Cornifle nageant, localisés ponctuellement sur la ZIP au niveau de quelques petites anses abritées du vent et du batillage, notamment dans l'anse sud-ouest du plan d'eau nord, en association avec d'autres herbiers flottants et petites roselières (*Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées, 2023*).

La présence d'un peuplement hydrophyte important participe au bon fonctionnement écologique des plans d'eau de nombreuses façons : stabilisation des sédiments, compétition avec le phytoplancton, filtration de l'eau, consommation des sédiments, création d'habitats et de ressources pour le zooplancton, aliment privilégiés de nombreuses espèces de poissons (Feldmann and Nöges, 2009; Giardino et al., 2015; Stefanidis and Papastergiadou, 2010), support potentiel de reproduction pour la faune piscicole. Ces derniers deux types d'habitats constituent également des zones de refuge privilégiées pour la petite faune spécialisée dans ces milieux (*Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées, 2023*).

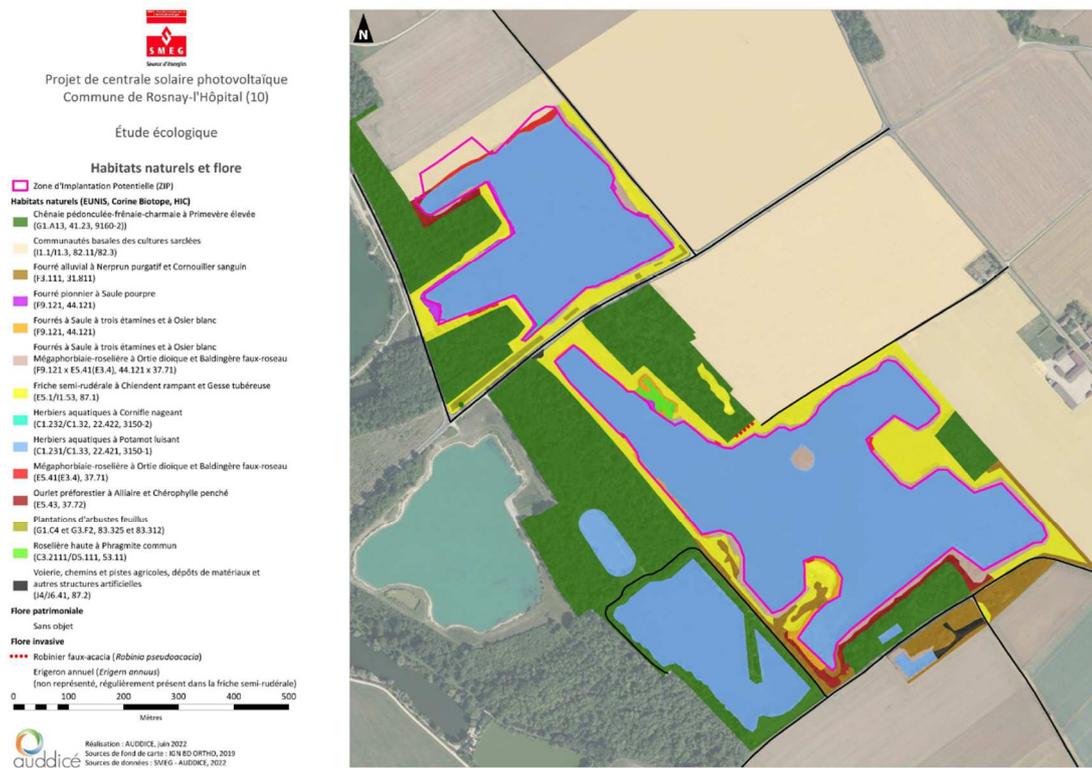


Figure 5. Synthèse des habitats naturels et flore recensés dans la zone d'étude. Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.

Ces milieux regroupent un certain nombre d'espèces qui ont fait l'objet d'un inventaire au cours d'un cycle biologique entier. Parmi tous les compartiments biologiques recensés, 2 groupes font l'objet de relevés d'espèces ayant suscité un intérêt, notamment du fait de la présence potentielle ou avérée d'espèces à enjeux patrimoniaux :

- l'avifaune ;
- les Chiroptères ;

Concernant l'avifaune, 123 espèces ont été inventoriées, dont 17 inscrites à l'annexe I de la Directive Oiseaux, 53 inscrites dans la liste rouge de Champagne-Ardenne, 37 sur liste rouge nationale UICN des oiseaux nicheurs et 4 menacés en hiver. Parmi ces espèces certaines étaient présentes en période et nidification et/ou en hiver. Des effectifs importants « d'oiseaux d'eau », tels que les anatidés, ont été comptabilisés pendant les périodes de migration, ainsi qu'en hiver. Ces populations sont susceptibles d'être directement impactées par l'implantation d'un parc photovoltaïque flottant, bien qu'elles utilisent également d'autres plans d'eau situés à proximité de la zone d'étude. Trois zones correspondant aux roselières constituent un enjeu fort sur la ZIP, puisqu'elles servent à la nidification et au nourrissage des espèces patrimoniales contactées sur le site ou susceptibles d'être présentes.

Concernant les Chiroptères, une forte diversité d'espèces a été mise en évidence (18 espèces dont de nombreuses patrimoniales et/ou en mauvais état de conservation). Cette population montre une activité globalement forte sur la zone d'étude, et des enjeux forts sont mis en évidence au niveau des boisements, et lisières forestières, qui constituent des zones de chasse, de reproduction et de déplacement privilégiés. Les plans d'eau constituent des zones d'enjeu *a minima* modérés, également favorables à la chasse.

Concernant les autres compartiments biologiques, les relevés n'ont pas mis en évidence la présence potentielle ou avérée d'espèce à enjeu patrimonial fort dans les milieux directement impactés par le projet

(localisés **dans** la ZIP). Il n'a donc pas été mis en évidence de zone à enjeux fort au niveau des ZIP (Figure 6).

Par ailleurs, pour certains compartiments, la présence d'espèces telles que le ragondin (espèce jugée nuisible), perche soleil (espèce exotique envahissante), poisson-chat (espèce nuisible introduite), écrevisse de Louisiane (espèce exotique envahissante) ainsi que la faible diversité d'espèces observée dans certains compartiments (notamment le compartiment poisson, pour lequel seulement 6 espèces ont été relevées, dont deux exotiques envahissantes) illustrent des milieux encore perturbés par l'exploitation récente des carrières. Concernant le compartiment végétal, sur les 180 espèces végétales identifiées au cours de l'inventaire, aucune ne fait l'objet d'un enjeu écologique ou patrimonial. La flore identifiée est caractéristique des zones agricoles intensives, et la majorité des espèces est très largement répandue dans la région.

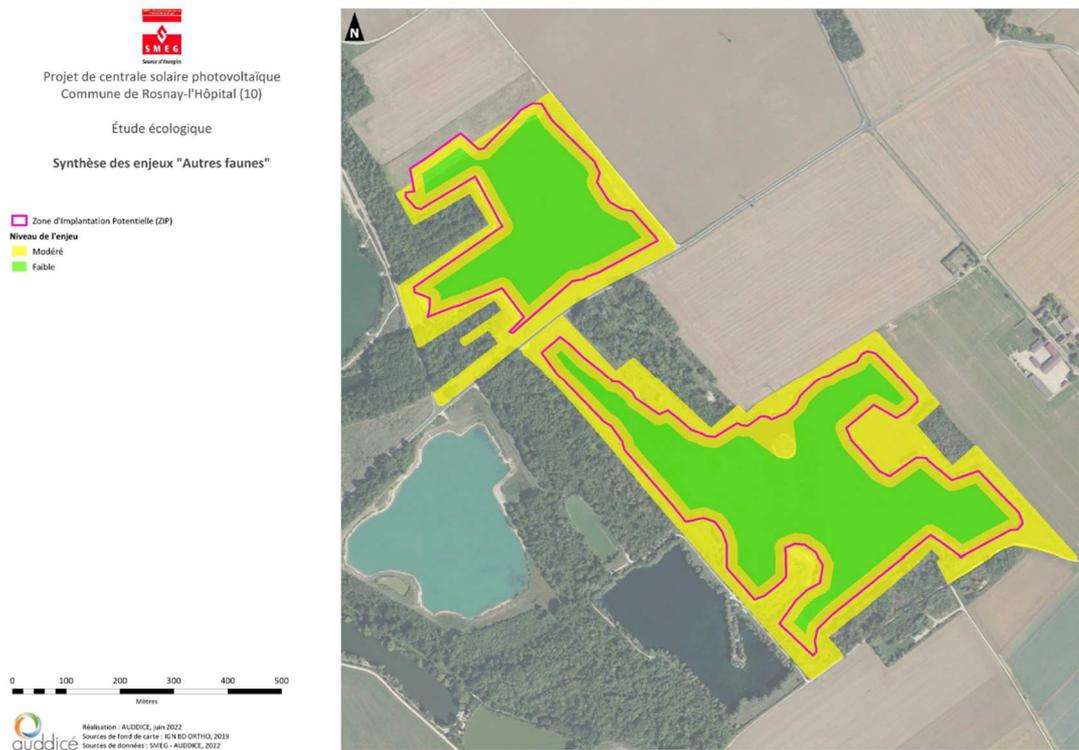


Figure 6. Synthèse des enjeux « autres faunes » incluant reptiles, mammifères, insectes et amphibiens (excluant les oiseaux et Chiroptères). Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.

En dehors des habitats à enjeux précités, le reste de la zone d'étude est occupé par des habitats qui semblent se situer encore aux stades précoces des successions écologiques, dominés par des espèces pionnières, communes, ou très compétitrices pour les ressources (telles que les rudérales et les espèces envahissantes). Il semble finalement n'y avoir dans la ZIP (surface de plan d'eau et surface occupée par les locaux techniques) que peu d'habitats pleinement favorables aux espèces patrimoniales et qui seraient impactés directement par l'exploitation du parc photovoltaïque (par exemple pour les mammifères, ou les poissons). En ce qui concerne les habitats favorables aux espèces d'intérêt patrimonial observées, tel que les berges favorables au nichage, des mesures d'évitement temporelles et spatiales ont été proposées dans l'étude d'impact pour la phase de mise en place du parc qui serait la période du projet la plus critique (KRILOFF, 2022).

2.1.2.2. Incertitudes liées aux milieux aquatiques

Seuls les milieux aquatiques et rivulaires, particulièrement importants pour un certain nombre de compartiments biologiques tels que l'avifaune, les amphibiens, reptiles, mammifères, l'ichtyofaune et l'entomofaune sont susceptibles d'être significativement impactés par l'exploitation de la centrale photovoltaïque.

L'étude de ces milieux n'a pourtant pas été approfondie dans l'inventaire de manière fine, particulièrement dans les zones en eau qui auraient pu, par exemple, faire l'objet d'une cartographie exhaustive de leur végétation. La cartographie des habitats naturels et flore de l'étude d'impact semble par exemple indiquer une présence des herbiers aquatiques à Potamots luisants (seul habitat identifié à enjeux fort sur la zone d'étude) sur toute la surface des plans d'eau (Figure 5) (*Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées*, 2023). Si la vue aérienne du plan d'eau sud semble effectivement mettre en évidence un milieu de profondeur dont une majorité de la surface est colonisée par de la végétation (Figure 4-G), le plan d'eau nord semble être plus profond et/ou plus turbide. Les hydrophytes ont besoin de conditions d'éclairement suffisantes pour pouvoir réaliser leur photosynthèse efficacement. Leur aire de colonisation ne dépasse généralement pas les quelques m de profondeur, surtout dans des milieux où la turbidité est chronique. Selon la profondeur des plans d'eau, il est peu probable qu'ils se trouvent en densités importantes dans les zones centrales des plans d'eau, où l'implantation des PV flottants est prévue.

Finalement, **le principal enjeu écologique** de l'implantation du parc photovoltaïque selon l'étude d'impact réside dans la **présence de divers habitats utiles voir déterminants dans les cycles biologiques de l'avifaune locale, en particulier sur le plan d'eau nord**. Cet enjeu est modéré à fort pour 11 espèces d'oiseaux. Concernant le plan d'eau sud, en dehors des zones de berges et de l'anse nord, l'enjeu associé à l'avifaune est considéré comme faible, moins attractive et peu favorable à l'accueil d'espèces patrimoniales (Figure 7) (*Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées*, 2023).

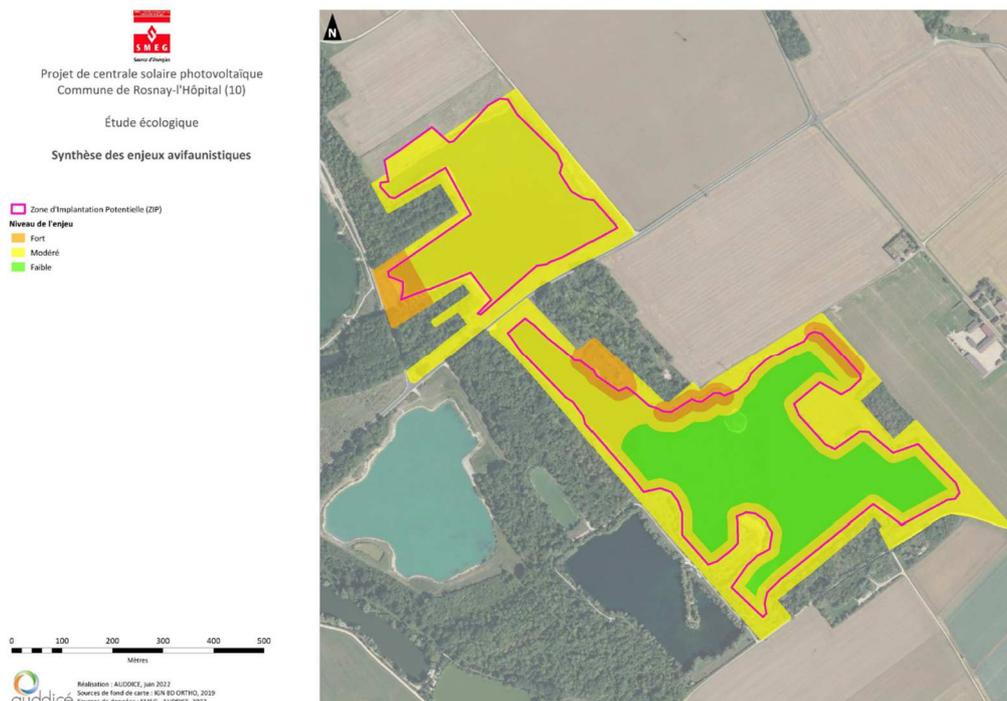


Figure 7. Synthèse des enjeux avifaunistiques. Tiré du dossier de demande dérogatoire à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est.

Sur la base de la définition de cet état initial, les porteurs de projet ont soumis une demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées au Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) Grand-Est, du fait de cet enjeu pour l'avifaune (*Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées*, 2023).

Le CSRPN a jugé l'étude bibliographique comme bien menée. Cependant, le volet dédié à l'impact de cette implantation sur l'ensemble des milieux aquatiques a été jugé trop peu détaillé, de même que les impacts

potentiels de la présence des panneaux photovoltaïques sur les communautés d'oiseaux, de chiroptères et d'insectes.

2.1.2.3. Synthèse

Le milieu aquatique nécessite donc une évaluation plus poussée des enjeux et risques liés à l'implantation de cette centrale photovoltaïque. Dans ce contexte, Aquascop a été mandaté par la SMEG afin d'apporter une expertise complémentaire sur ces questions, sur la base de nos expériences dans ce domaine et avec l'appui de la littérature scientifique. Les éléments fournis ci-après doivent être pris avec réserve, car nous n'avons pas pu nous rendre sur site pour les conforter avec la réalité de la zone d'étude.

2.2. EVALUATION DES IMPACTS POTENTIELS SUR LES MILIEUX AQUATIQUES

2.2.1. Généralités sur les milieux lacustres

Les milieux lacustres sont des écosystèmes aquatiques enclavés, permanents, et constitués d'eau douce. Selon leur profondeur, leur prise au vent, et leur topologie, ces milieux se structurent en différentes zones qui présentent des caractéristiques spécifiques. Cette structuration dépend de :

- La thermocline qui sépare deux couches d'eau par une différence de température très marquée. Les plans d'eau profonds connaissent une stratification thermique en couches d'eau de températures et densités distinctes. A partir d'une certaine profondeur, la température est généralement très stable. La colonne d'eau est alors séparée en l'épilimnion, le métalimnion et l'hypolimnion. L'épilimnion est la couche de surface la plus chaude du plan d'eau ou la lumière est très abondante. C'est dans cette zone que la productivité primaire est optimale et la plus importante. Les flux éoliens (vents) permettent à cette couche d'eau d'être brassée et donc homogène en conditions de nutriments et oxygène dissous. Le métalimnion constitue la couche intermédiaire, plus froide que l'épilimnion, mais plus chaude que l'hypolimnion. Sa densité est significativement différente de la première couche. L'oxygène y est généralement encore abondant et elle peut être le siège d'une production primaire soutenue à condition d'être encore dans la zone euphotique (Staehr et al., 2012). L'hypolimnion est la couche la plus inférieure et la plus froide. La température y est stable, et la concentration en oxygène dissous faible car consommée par la décomposition de la matière organique sédimentaire. Si cette couche n'est pas suffisamment brassée, l'oxygène dissous peut être complètement épuisé, provoquant une anoxie du milieu. La stratification thermique peut être particulièrement marquée en été, favorisant les épisodes d'anoxie en profondeur. Dans les milieux peu profonds, l'action du vent peut suffire à empêcher la stratification de la colonne d'eau, qui peut intervenir très ponctuellement selon la morphologie du plan d'eau. Globalement, ces zones évoluent au cours des saisons grâce aux apports d'eau (notamment pluviale), aux températures et aux épisodes venteux (Duchemin, 2002; Wetzel, 2001) (Figure 8).
- La limite entre zone euphotique, dans laquelle la lumière pénètre et permet la photosynthèse et la zone aphotique, dans laquelle la lumière ne pénètre plus suffisamment pour permettre la photosynthèse (Figure 8) ;

La position de ces deux types de limites définit la productivité primaire, les profils métaboliques et les interactions entre compartiments, favorisant ou non des proliférations algales, la reminéralisation sédimentaire, l'occurrence de crises anoxiques en profondeur, ou d'autres phénomènes aux conséquences positives ou négatives pour l'environnement et ses usagers (Staehr et al., 2012). Cette structuration évolue au cours du temps, la stratification étant davantage marquée et stable en été, lorsque les températures en surface sont très élevées par rapport à celles de l'hypolimnion. En général c'est à cette période que les efflorescences algales sont observées, et initient par la suite des phases d'anoxies, voire d'hypoxie en profondeur lorsque la consommation de matière organique sédimentée provoque un épuisement de l'oxygène dissous.

Dans ce type de système enclavé, les changements climatiques sont susceptibles d'impacter significativement le fonctionnement des masses d'eau, vers une hausse de température, une accentuation de la stratification, de l'évapotranspiration, ... Ces modifications peuvent avoir des conséquences significatives sur les cycles biologiques et les interactions trophiques entre les compartiments (phytoplancton, crustacés,

macroinvertébrés benthiques, amphibiens, poissons) (Wang et al., 2020). La hausse des températures pourrait être à l'origine d'une dégradation rapide des plans d'eau par une accentuation de la fréquence des proliférations algales et des épisodes d'anoxie. Cette problématique doit être incluse dans la mise en œuvre de plans de gestion des milieux aquatiques.

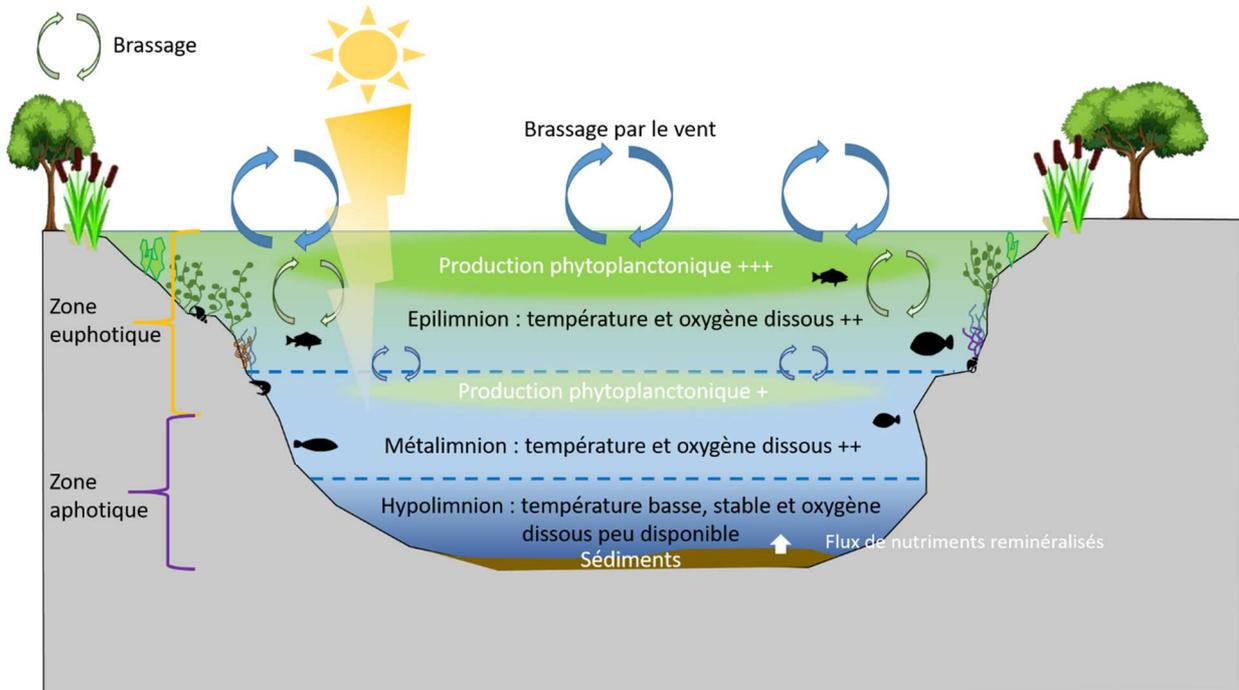


Figure 8. Schématisation du fonctionnement simplifié d'un plan d'eau stratifié.

2.2.2. Conséquences de la présence des PV flottants

L'impact de l'installation de parcs photovoltaïques flottants fait l'objet d'un intérêt croissant depuis quelques années. Une revue de la littérature scientifique effectuée en 2021 recensait 70 000 articles scientifiques de rang A sur ce sujet (Exley et al., 2021). Les impacts documentés sont pour autant contradictoires (négatifs ET positifs) selon les caractéristiques du milieu et du dispositif mis en place, d'où la complexité de cette problématique.

Comme indiqué dans l'étude d'impact, il faut différencier les 3 phases du projet pour évaluer leurs impacts sur le milieu aquatique :

- Mise en place : turbidité, destruction d'habitats, pollutions éventuelles. Cette période constitue, d'après la littérature scientifique, la période la plus risquée pour l'environnement dans le cas de projets dans lesquels le recouvrement des PVF serait modéré. Dans le cadre de ce projet, une couverture de 36% des plans d'eau est prévue. En comparaison aux autres projets déjà mis en œuvre et à leurs impacts, ce recouvrement est considéré comme modérés (Marx, 2022).
- Exploitation : ombrage, réduction prise au vent, présence des corps morts (substrats artificiels). Les impacts dépendent fortement du pourcentage de recouvrement du plan d'eau par les PVF, et semblent commencer à être significatifs au-delà de 40% (Ilgen et al., 2023; Marx, 2022).
- Démantèlement : turbidité, destruction d'habitats, impacts sur la macrofaune benthique et la végétation aquatique submergée.

2.2.2.1. Qualité de l'eau

Dans le cadre de cette étude, l'état initial de la qualité des plans d'eau n'a pas été définie de manière précise. Les paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous, conductivité, turbidité, concentration en nutriments (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates), paramètres d'eutrophisation (azote total, phosphore total, biomasse chlorophyllienne) et biologiques (densité et composition du peuplement phytoplanctonique, recouvrement et diversité du peuplement macrophytique) doivent être décrits pour avoir une vision plus fine de l'état actuel de ces plans d'eau et des impacts potentiels du projet. La profondeur est un autre élément indispensable à connaître pour comprendre le fonctionnement des écosystèmes et l'impact de l'implantation des panneaux photovoltaïque sur ce fonctionnement.

Certains paramètres physico-chimiques ont été analysés à deux reprises dans les deux plans d'eau, le 13 avril et le 15 septembre 2021 (Tableau 1). Les seuils entre classes d'états sont calculés sur la base de l'arrêté du 9 octobre 2023 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2020 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface (Arrêté du 9 octobre 2023 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement, 2023), pour un plan d'eau dont la profondeur max a été estimée à 8 m. Ces valeurs devront donc être revues lorsque la bathymétrie des plans d'eau sera connue. Concernant les paramètres de qualité physico-chimique évalués dans la classification des masses d'eau au sens de la DCE (transparence, ammonium et phosphore total), les données acquises sur les deux périodes d'échantillonnage indiquent des plans d'eau de qualité très bonne en avril pour les deux plans d'eau, et en septembre très bonne pour le plan d'eau sud, et bonne pour le plan d'eau nord. La teneur en nitrate mesurée décline les deux plans d'eau en avril, et illustre les apports potentiels de nitrates issus du lessivage des zones agricoles environnantes. Ces valeurs soulignent la vulnérabilité des plans d'eau au phénomène d'eutrophisation.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau des plans d'eau nord et sud, en avril et septembre 2021. Le code couleur illustre les classes d'états pour les paramètres dont des seuils sont définis par l'arrêté du 9 octobre 2023.

Variable	Date	13/04/21	13/04/21	15/09/21	15/09/21
Plan d'eau (PE)	Unité	Nord	Sud	Nord	Sud
pH (mesuré in situ)	unité pH	8,2	8,2	8,8	9
Conductivité compensé à 25°C (mesuré in situ)	µS/cm	334	360	220	178,1
Transparence	m	2	3	2,2	2,1
Aspect	-	limpide	limpide	limpide	limpide
Couleur	-	inodore	inodore	inodore	inodore
ST DCO	mg (O ₂)/l	6	10	12	12
Demande Biochimique en Oxyg (ap. congélation)	mg(O ₂)/l	0,6	0,9	2	1
DCO/DBO	-	10	11,1	6	12
Chlorophylle A (Sta)	µg/L	5	1	1	2
Matières en Suspension - Sartorius MGC	mg/l	< 2	<2	2,1	<2
Azote Kjeldahl	mg(N)/l	< 0,5	0,5	0,6	0,5
Nitrates -Colorimétrie séquentielle automat.	mg(NO ₃)/l	6	10,7	<0,4	1,6
Azote nitrique-Colo séquentielle auto..	mg(NNO ₃)/l	1,35	2,42	<0,09	0,36
Nitrites-Colorimétrie séquentielle automat.	mg(NO ₂)/l	0,04	0,08	0,02	0,03
Azote nitreux - Colo séquentielle automat.	mg(NNO ₂)/l	0,01	0,02	0,006	0,009
Azote Global (NK+NO ₃ +NO ₂)	mg(N)/l	1,41	2,94	0,61	0,87
Ammonium - Colorimétrie séquentielle automat.	mg(NH ₄)/l	0,07	0,14	0,11	0,13
Phosphore total-Spectrométrie automatisée	mg P/l	0,03	0,02	0,04	0,02
Classes d' état	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais

Chaque plan d'eau issu d'une exploitation d'extraction de matériaux issus du sous-sol possède des caractéristiques spécifiques notamment liées à sa localisation (climat, géologie, masses d'eau connectées), son exploitation (profondeur, largeur, matériau(x) extrait(s), ...). Dans les premiers temps de la mise en eau, ces milieux sont fortement perturbés. Dans le cadre des carrières, des matériaux non énergétiques (inertes) sont extraits mécaniquement du sous-sol. Cette exploitation peut engendrer des contaminations de la masse d'eau et des sédiments qui peuvent se maintenir dans l'environnement pendant une durée plus ou moins longue et nécessiter des traitements actifs. Les deux plans d'eau qui nous intéressent sont issus de carrières qualifiées de gravières, desquelles étaient extraits du sable, de l'argile et du Kaolin (KRILOFF, 2022).

1. La phase d'installation du parc photovoltaïque pourrait générer une remise en suspension des particules fines aux abords et dans le plan d'eau, susceptible de générer une limitation lumineuse pour les organismes autotrophes se développant dans ces zones. **Ces particules pourraient également provoquer un colmatage du milieu et avoir un impact négatif sur les compartiments benthiques (macrophytes et macroinvertébrés). Lorsqu'elles sont remises en suspension, les particules d'argiles persistent très longtemps dans la colonne d'eau et atténuent fortement la lumière, au détriment des compartiments autotrophes et particulièrement benthiques** (Giardino et al., 2015).
2. Durant la phase d'exploitation, le principal impact de la présence des PV flottant aura lieu à l'interface air-eau. Les PV flottant réduiront l'évaporation et les déperditions énergétiques du plan d'eau en période estivale (Armstrong et al., 2020; Essak and Ghosh, 2022; Ilgen et al., 2023). La réduction de la prise au vent impactera mécaniquement la colonne d'eau, en la stabilisant, favorisant la stratification. L'ombrage conduira à une diminution de la température de l'eau en surface, qui pourrait réduire la phase de stratification thermique estivale et favoriser un meilleur mélange des couches d'eau (ces deux composantes s'annulant). La diminution de la température de l'eau permet également de maintenir un niveau plus élevé en oxygène dissous (Armstrong et al., 2020; Li et al., 2020). La protection contre la remise en suspension et la réduction de la période de stratification thermique pourrait être favorable à la pérennisation des peuplements de végétaux aquatiques dans les zones non masquées par les PVF, et pour la macrofaune benthique plus généralement, en réduisant les phases d'anoxie. La réduction des phases d'anoxie et l'homogénéisation de la colonne d'eau pourra également participer à réduire le relargage sédimentaire du phosphore. Cette réduction du flux de phosphore dans la colonne d'eau est favorable à une évolution de l'hydrosystème vers un bon état, colonisé par des macrophytes plutôt que soumis à des proliférations algales (Exley et al., 2021).

Ces effets varient fortement selon le pourcentage de recouvrement du plan d'eau. Des effets notables ont été observés pour des recouvrements supérieurs à 40%. Dans le cadre de ce projet, le recouvrement de 36% aura sans doute un impact sur la température du plan d'eau et la qualité de la colonne d'eau (homogénéisation, réduction de la stratification, ...), **mais il devrait être très limité.**

Concernant une pollution éventuelle provenant des matériaux des PV flottants, il est difficile d'apporter des éléments. Peu d'études menées sur ces dispositifs ont inclut une recherche de ce type de contamination au-delà d'une inspection visuelle. Les principaux résultats font état d'une amélioration de la qualité de l'eau consécutive d'une réduction de la concentration en nitrate et/ou en chlorophylle a grâce aux effets de réduction de l'évaporation et de limitation lumineuse des microalgues (Essak and Ghosh, 2022).

3. Durant la phase de démantèlement, les mêmes conséquences que lors de la mise en place sont à prévoir : remise en suspension de particules fines dans la colonne d'eau provoquant une hausse de la turbidité et le colmatage des fonds, destruction d'herbiers et d'habitats en berge principalement, ayant un impact significatif sur les peuplements benthiques (macrophytes, macrofaune), et tous les compartiments pour lesquels ils jouent des rôles fonctionnels importants. Si le milieu a poursuivi son évolution naturelle, incluant un développement de la végétation aquatique submergée, la remise en suspension sédimentaire devrait être plus limitée.

2.2.2.2. Compartiment phytoplanctonique

Les plans d'eau issus de la réhabilitation de carrières sont des milieux très perturbés qui peuvent être rapidement colonisés par les espèces les plus compétitrices dans les premiers stades de leur réhabilitation. En termes d'acquisition des nutriments biodisponibles et de la lumière, le phytoplancton est le compartiment autotrophe le plus compétitif. Il colonise ainsi bien plus rapidement les milieux aquatiques perturbés que les macroalgues et les angiospermes, dont la croissance est plus lente et l'accès à la lumière en milieu de profondeur variable plus restreint (Reynolds, 2006).

Les plans d'eau visés par l'étude sont, de par leur historique récent et leur localisation, très vulnérables au processus d'eutrophisation. *L'eutrophisation est une forme [...] naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (disponibles sous la forme des phosphates) et l'azote (disponible sous la forme d'ammonium, de nitrate, et de nitrite)². Une disponibilité en nitrates, associée à un ensoleillement et une température optimale pourraient favoriser la prolifération de microalgues. Le statut trophique de ces milieux lenticules peut rapidement se dégrader, notamment lorsqu'ils sont environnés de zones densément urbanisées ou cultivées, du fait des apports nutritifs apportés par le lessivage ou par connexion avec des masses d'eau contaminées. La présence d'une végétation développée aux abords des plans d'eau permet de limiter l'apport par le lessivage, mais les connexions aux aquifères environnantes sont plus complexes à établir et à gérer (Ghirardi et al., 2023).*

Les deux plans d'eau sont principalement alimentés par les eaux souterraines et les eaux de pluie. La masse d'eau souterraine affleurante (FRHG215) présente un bon état quantitatif³ mais un état chimique médiocre, lié à la présence de polluants d'origine agricole (nitrates, et ethylurée, métabolite de pesticide). Par ailleurs, « *Les orthophosphates montraient en 2015 une tendance à la hausse, tandis que l'atrazine et l'atrazine déséthyl présentaient une tendance à la baisse* » (Fiche de caractérisation de la Masse d'Eau HG214 "Albien-Néocomien Libre entre Seine et Ornain, 2015). Des données plus récentes sur la qualité de cette masse d'eau n'ont pas pu être intégrées à ce rapport. La vulnérabilité à l'eutrophisation des plans d'eau de la zone d'étude est donc déjà établie du fait de la contamination en nitrate potentiellement toujours présente dans la masse d'eau affleurant et illustrée par les analyses physico-chimiques effectuées en avril 2021 (Tableau 1). Cette vulnérabilité dépend cependant de nombreux paramètres, notamment la disponibilité des autres ressources indispensables à la croissance algale telle que la concentration en phosphore, la turbidité (limitation lumineuse), la profondeur, et l'état d'avancement de l'écosystème au sein des successions végétales (bien qu'une dégradation puisse arriver très rapidement).

Le compartiment phytoplanctonique joue un rôle clé dans les réseaux trophiques car il constitue le premier chaînon. Sa composition est déterminante pour les niveaux trophiques supérieurs et influence fortement la qualité du milieu. Dans un milieu équilibré, les nutriments disponibles favorisent une croissance phytoplanctonique suffisante pour alimenter les niveaux trophiques supérieurs, sans créer une compétition avec les autres compartiments autotrophes (macroalgues et angiospermes) qui peuvent se développer dans le milieu.

Dans un milieu eutrophisé, un apport excédentaire de nutriments (principalement N et P) provoque rapidement une forte croissance du phytoplancton, dont la communauté se retrouve généralement dominée par un ou deux groupes phytoplanctoniques majoritaires, et qui ne sont bien souvent pas les plus favorables aux espèces qui les consomment. Les biomasses trop importantes de phytoplancton produites provoquent une augmentation de la turbidité de l'eau, empêchant les macrophytes d'accéder à la lumière indispensable à leur développement et aux nutriments dans la colonne d'eau car ils sont été rapidement épuisés par le phytoplancton.

Lorsque cette biomasse meurt, la matière organique sédimente et est consommée par le compartiment microbien, qui va utiliser dans un premier temps l'oxygène dissous et provoquer un abaissement de sa teneur

² <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>

³ les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes en application du principe de gestion équilibré ("DCE," 2000)

dans le milieu. Cette consommation peut conduire à un épuisement de l'oxygène dans l'hypolimnion, permettant aux communautés microbiennes anoxiques d'activer leur métabolisme (exemple des bactéries anaérobie sulfite-réductrices). Ces microorganismes accentuent la dégradation du milieu puisqu'ils produisent des gaz toxiques tels que l'H₂S, qui terminent de décimer tous les organismes benthiques qui ne sont pas en capacité de l'éviter. On observe alors un épisode de mortalité de masse de la macrofaune et des peuplements macrophytiques, qui, s'il s'étend à l'ensemble de la masse d'eau, peut également toucher les peuplements de poissons. L'occurrence d'un tel déséquilibre entraînant une mortalité de masse est appelée une crise dystrophique.

Le phytoplancton peut être à l'origine d'un autre risque : en fonction de la nature de la contamination (type d'apport en nutriment), des cyanobactéries peuvent également se développer et proliférer. Un grand nombre de genres cyanobactériens étant potentiellement toxigènes, leur présence peut signifier un danger pour l'ensemble des communautés se nourrissant sur le plan d'eau et pour ses usagers. Oiseaux, chiroptères, mammifères, poissons, peuvent être contaminés par les toxines produites (microcystines hépatotoxiques, anatoxines neurotoxiques, saxitoxines neurotoxiques (Chorus and Welker, 2021)), provoquant une mortalité de masse de ces compartiments également. Les proliférations d'algues potentiellement toxigènes de par leur capacité à produire des toxines ou de par leur capacité à conduire à la dégradation de leur milieu sont qualifiées d'HABs (Harmful Algal Bloom) et suivies pour des raisons évidentes de problématiques sanitaires (Hennon and Dyhrman, 2020).

L'eutrophisation et la prolifération algale dans les eaux continentales sont étudiées mondialement depuis les années 70. De nombreuses mesures de restauration ont été mises en œuvre pour parvenir à l'atteinte d'un bon état écologique de ces masses d'eau dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau ("DCE," 2000). Ces mesures ont notamment consisté en la réduction des apports en N et en P aux milieux aquatiques.

Pourtant, ces dernières années les phénomènes de prolifération algales et d'occurrence d'HABs, sont de plus en plus fréquents. Cette hausse de fréquence a été mise en relation avec les changements climatiques globaux, notamment les hausses globales de températures. En effet, la biodisponibilité des nutriments sous forme dissoute (carbone, azote, phosphore), ainsi que les capacités de croissance des microalgues sont corrélées à la température du milieu jusqu'à l'atteinte d'un optimum (Hennon and Dyhrman, 2020; Reynolds, 2006; Visser et al., 2016). Les plans d'eau visés par le projet ne sont pas concernés par des activités récréatives, cependant ce risque peut s'étendre à tous les organismes utilisant le plan d'eau. Des précédents de mortalité de masse par intoxication aux cyanotoxines d'oiseaux, amphibiens et poissons ont déjà été rapportés (Landsberg et al., 2020; Metcalf et al., 2006; Oberemm et al., 1999).

Les impacts de l'implantation du parc photovoltaïque flottants sur le phytoplancton dépendront de sa composition à l'origine, et qui reste encore à définir. Les valeurs de chlorophylle *a* mesurées en avril et septembre 2021 ne suffisent pas à conclure sur l'état de ce compartiment et son évolution avec l'installation du parc photovoltaïque. Cependant, nous pouvons déjà émettre les hypothèses suivantes :

1. En phase de mise en place, une remise en suspension des particules argileuses pourrait faire fortement chuter le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) incident dans la colonne d'eau, limitant la croissance phytoplanctonique jusqu'à la sédimentation de ces particules. Il faut toutefois noter que le phytoplancton possède une diversité d'organismes possédant des capacités d'adaptation (au travers d'une adaptation du cortège pigmentaire) à la modification du spectre lumineux telles qu'il pourrait être capable de persister par le biais d'individus plus compétitifs pour la lumière, telle que certaines cyanobactéries. Un changement de la composition des communautés pourrait alors être observé, avec les conséquences potentielles liées aux proliférations cyanobactériennes évoquées ci-dessus.
2. En phase d'exploitation, l'implantation de panneaux photovoltaïque sur les plans d'eau est susceptible d'avoir plusieurs impacts sur le compartiment phytoplanctonique. L'ombrage crée provoquera sans doute un abaissement de la température des premiers cm de la colonne d'eau, ainsi qu'une stabilisation liée à une protection contre les flux éoliens (Exley et al., 2021). Ces changements intervenant dans le centre des plans d'eau ciblés par le projet, permettraient de **réduire le risque potentiel de prolifération algale, dont la croissance serait limitée par la réduction du rayonnement photosynthétiquement actif (recouvrement du parc) et la réduction**

de la température (Armstrong et al., 2020; Exley et al., 2021). Dans certains cas, les pics de biomasse ont bien eu lieu mais ils ont été décalés dans le temps et ont donc duré moins longtemps. D'autres études ont également documenté une modification de la composition des communautés, en faveur de diatomées filamenteuses et de certaines cyanobactéries, capables de survivre dans des conditions d'éclairement réduites (Exley et al., 2021; Li et al., 2020). Il faut toutefois tempérer ces retours d'expérience, car les effets significatifs sur les compartiments biologiques, notamment le phytoplancton, dépendent du pourcentage de recouvrement du plan d'eau. **Globalement, les PV flottants semblent avoir un effet significatif marqué à partir de 40% de recouvrement** (Marx, 2022; Pouran et al., 2022; SOUBELET et al., 2021).

3. En phase de démantèlement, les **impacts sur le compartiment phytoplanctonique seront sans doute similaires à ceux prévus en phase d'installation**. Cependant, la période d'exploitation aura sans doute permis aux herbiers de poursuivre leur développement dans les zones de berges et de pentes douces, ce qui devrait limiter le phénomène de remise en suspension sédimentaire par rapport à la mise en place.

2.2.2.3. Compartiment macrophytique

A l'issue de la cessation d'activité des carrières, lorsque celles-ci sont réhabilitées en plans d'eau, leurs berges et zones de faibles profondeur sont progressivement colonisées par une communauté de macrophytes aquatiques qui fournit un grand nombre de services écosystémiques (Ghirardi et al., 2023). De manière simplifiée, les premiers organismes à coloniser le milieu sont généralement des macroalgues libres (non fixées), plus à même d'acquiescer les ressources et le rayonnement lumineux en surface. Sans organe vraiment défini (on parle de thallophyte), elles se reproduisent par clonage et sont de fait très compétitives pour coloniser le milieu. Viennent ensuite les macrophytes ancrés dans le sol mais dont les feuilles sont flottantes (macrophytes émergés). Ces organismes appartenant pour la plupart aux plantes vasculaires possèdent une croissance plus lente, une stratégie reproductive plus complexe et coûteuse (reproduction sexuée et parfois asexuée), mais peuvent également optimiser l'acquisition de lumière en atteignant la surface, et sont capables de se maintenir plus longtemps. Enfin, lorsque le milieu est moins turbide (moins de phytoplancton par exemple), la végétation aquatique submergée peut s'implanter (Chambers et al., 2008).

Cette colonisation a bien été observée lors de l'étude d'impact sur les deux plans d'eau, sans que ces peuplements ne soient précisément décrits en termes de diversité et de recouvrement. Notons toutefois que la végétation aquatique submergée ne peut s'implanter dans les zones plus profondes lorsque la limite euphotique est passée. Généralement, les zones les plus densément colonisées par les hydrophytes dans un milieu à turbidité chronique se trouvent entre 0.2 et 0.5 m de profondeur (Feldmann and Nöges, 2009). Dans des conditions de turbidité faible, les herbiers de *Ceratophyllum demersum* sont documentés jusqu'à une profondeur d'1.6 m, quand les herbiers de *Potamogeton lucens* ont été documentés jusqu'à 2.5 m, ces profondeurs n'étant pas atteintes en condition de turbidité importantes. Par ailleurs, compte tenu de la nature de la zone dans laquelle est implantée le projet, et de la contamination de la masse d'eau souterraine en nitrates, le compartiment macrophyte de la zone d'étude pourrait avoir du mal à se maintenir, s'étendre ou se diversifier dans le temps. Des études montrent en effet que la richesse en macrophytes est inversement corrélée aux concentration en nitrate dans les lacs d'Europe (James et al., 2005).

Bien qu'il soit nécessaire de définir l'état des peuplements macrophytiques de ces plans d'eau pour pouvoir évaluer plus finement les impacts potentiels de l'implantation des parcs photovoltaïques sur ce compartiment, les hypothèses suivantes peuvent être formulées :

1. En phase de mise en place, la végétation aquatique submergées et les peuplements d'hélophytes en bordure pourraient être fortement **perturbés mécaniquement dans les zones de travaux (arrachage, destruction) et par la turbidité induite par la remise en suspension sédimentaire**. Il faudra veiller à ce que cette perturbation ne favorise pas le développement d'espèces exotiques invasives au détriment des peuplements à croissance plus lente. Globalement, il est conseillé d'essayer de minimiser l'arrachage des plantes aquatiques submergées dont la croissance est bien

plus lente que celle des macroalgues qui peuvent rapidement provoquer des crises dystrophiques, au même titre que le phytoplancton.

2. En phase d'exploitation, **l'impact sur les plantes aquatiques submergées et sur les hélophytes de berge devrait être réduit**, puisque les panneaux ont été placés au droit des zones centrales des plans d'eau, qui sont, *a priori*, d'une profondeur supérieure à celle permettant le développement optimal des herbiers. Les berges, ainsi que les zones les plus biogènes (hauts fonds identifiés dans certaines anses), ont volontairement été épargnées pour préserver les habitats et les espèces qui y ont trouvé refuge. Les panneaux seront en effet placés à plus de 10 m du bord. L'implantation des herbiers et la bathymétrie des plans d'eau restent à confirmer.
3. En phase de démantèlement, les risques seront similaires à ceux identifiés pour la phase de mise en place. Cependant, la végétation aquatique pourrait s'être développée selon les successions végétales habituelles vers des espèces plus pérennes. Il faudra alors veiller à ce que les travaux de démantèlement ne perturbent pas trop ces peuplements, et ne favorisent pas l'implantation d'espèces exotiques envahissantes au détriment des peuplements établis.

2.2.2.4. Compartiment macrofaune benthique

Les macroinvertébrés résident tout ou partie de leur cycle de vie à la surface des sédiments lacustres (larves ou nymphes d'insectes, vers, écrevisses, moules, ...). Ils représentent un bioindicateur pertinent de la qualité du milieu, et participent à maintenir un bon état écologique par leur nutrition (filtration de l'eau, consommation de la matière organique, etc.).

Les impacts des panneaux photovoltaïques flottants sur le compartiment macrofaune benthique sont peu voire pas documentés. Les impacts de la présence des PV documentés précédemment peuvent cependant également toucher le compartiment benthique. Les concentrations en oxygène pourraient être modifiées,

- soit positivement (facilitation des mélanges de l'eau le long de la colonne du fait de la réduction de la stratification + augmentation de la capacité de l'oxygène à rester dissous dans l'eau du fait de températures inférieures, réduction des proliférations algales dont la biomasse lorsqu'elle est consommée conduit à un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau) ;
- soit négativement (réduction du mélange par le vent, réduction de l'oxygène produit par le phytoplancton dont la croissance au droit des PV est limitée par l'ombrage, ...).

Il est donc très **difficile de prédire les conséquences de l'installation de ce parc photovoltaïques** sans plus d'information sur le fonctionnement initial de ces deux plans d'eau. L'interface eau-sédiment va sans doute être modifiée par la présence des PV flottants, et ces modifications sont susceptibles d'avoir un impact sur la macrofaune benthique.

Un impact positif a cependant été mis en évidence : l'implantation des PV flottants implique la **création de nouveaux supports pour les macroinvertébrés** (poids morts pour l'ancrage, flotteurs, ...), que certains organismes de la macrofaune benthique, tels que les moules, peuvent coloniser. Cette colonisation a été observée à plusieurs reprises sur la structure de parcs photovoltaïques flottants, montrant que ces structures peuvent être favorables au développement de la vie aquatique (Obbink, 2023). Cet impact pourrait être particulièrement intéressant dans le cadre des plans d'eau visés par le projet, car les substrats potentiellement disponibles pour la colonisation par les macroinvertébrés, à savoir le sable et l'argile, sont qualifiés comme peu biogènes pour ces peuplements dans la norme XP T90-333 (NF T90-333, 2016).

2.2.2.5. Compartiment poisson

L'étude d'impact fait état d'une recherche par l'ADNe pour identifier les peuplements de poissons. Deux réplicats ont été réalisés dans le plan d'eau Sud (partie nord et partie sud) et un dans le plan d'eau Nord.

Une très faible diversité de poisson a été mise en évidence, avec seulement 5 espèces détectées au total. Le peuplement des deux plans d'eau est dominé par le rotengle, accompagné dans une moindre mesure du gardon deux cyprinidés caractéristiques des milieux lacustres.

Le peuplement du plan d'eau sud est complété par deux espèces : la perche (zooplanctonophage au stade juvénile et piscivore au stade adulte) et le silure (piscivore). A noter que la perche et le gardon forment un cortège classique des plans d'eau inférieur à 1500 m d'altitude (Argilier et al., 2002). Le peuplement du plan d'eau sud apparaît peu diversifié (4 espèces seulement), mais composé d'espèces autochtones associées à un bon équilibre de la pyramide trophique (proie/prédateur). La dominance du rotengle, espèce phytophile témoigne de la présence de végétation aquatique immergée nécessaire à sa reproduction.

Le peuplement du plan d'eau Nord est différent puisque le cortège gardon/rotengle est complété uniquement par la perche soleil, une espèce exotique envahissante classée à l'article R432-5 du CE. Ainsi, le peuplement piscicole du plan d'eau Nord apparaît fortement déséquilibré, composé de seulement trois espèces, dont une espèce exotique envahissante et l'absence d'espèce prédatrice. Ce résultat s'explique probablement par le caractère très jeune et artificiel de ce plan d'eau.

Les **impacts (positifs ou négatifs) sur le compartiment poisson peuvent être nombreux, complexes, et dépendent des réseaux trophiques en place** (Armstrong et al., 2020). Par exemple, la régulation des proliférations algales par l'ombrage pourrait nuire aux espèces dont au moins une partie du cycle de vie se nourrit de microalgues, tandis qu'elle pourrait favoriser les espèces herbivores ou se nourrissant de zooplancton, et plus globalement réduire les risques de mortalité de masse liées aux crises dystrophiques. L'ombrage pourrait également impacter le succès de la prédation visuelle des poissons, qu'ils soient piscivores ou planctivores. A l'inverse la présence des panneaux pourrait accroître l'activité des poissons qui seraient moins vigilants vis-à-vis de leurs prédateurs (Exley et al., 2021). Les PV flottants pourraient également représenter un refuge pour les juvéniles de poissons ou les petites espèces, leur permettant de maintenir leur population (Obbink, 2023).

Au même titre que pour le compartiment phytoplanctonique, l'ombrage et la baisse de température occasionnée par l'implantation des PV flottant pourrait bénéficier au compartiment poisson. Des eaux plus froides et potentiellement plus riches en oxygène dissous au droit du parc peuvent leur être favorables, notamment en période estivale (Armstrong et al., 2020; Obbink, 2023). Le recouvrement modéré des PV flottants dans le cadre du projet devrait cependant limiter les impacts, qu'ils soient bénéfiques ou non.

En phase d'implantation et de démantèlement, une attention particulière devra être portée à la préservation d'habitats d'intérêt (zone de frayère par exemple) éventuel pour les espèces à enjeu si nous en recensons.

2.2.3. Conclusions sur le milieu aquatique

La revue de la littérature scientifique pointe de nombreux impacts potentiels de l'implantation de panneaux photovoltaïques flottants sur le fonctionnement des milieux aquatiques. Cependant plusieurs de ces impacts ont des effets antagonistes. Ces effets sont qui plus est pleinement dépendants (i) du fonctionnement initial du milieu, de la composition des compartiments et de leurs interactions trophiques (ici encore méconnus), (ii) du pourcentage de recouvrement des PV flottants sur le plan d'eau. En dessous de 40% de recouvrement, de nombreuses études indiquent que l'effet sur le milieu est faible voire non significatif. Le projet de la SMEG prévoit une implantation du parc photovoltaïque préservant les berges et les hauts fonds, zones les plus biogènes des plans d'eau du site d'implantation. **Le pourcentage de recouvrement de 36% suppose des effets modérés sur l'ensemble des milieux aquatiques.** Une synthèse des impacts potentiels recensés par la littérature scientifique et détaillés dans ce rapport est présentée dans le Tableau 2.

Tableau 2. Synthèse des impacts potentiels des PV flottants sur le milieu aquatique

Types d'impact	Phase de mise en place	Phase d'exploitation		Phase de démantèlement
	Menaces	Bénéfices	Menaces	Menaces
Physique	<ul style="list-style-type: none"> Remise en suspension sédimentaire Destruction mécanique d'habitats Colmatage des fonds 	<ul style="list-style-type: none"> ↘ évaporation ↘ température de l'eau ↗ homogénéisation liée à une réduction de la stratification 	<ul style="list-style-type: none"> ↘ mélange colonne d'eau l'hiver 	<ul style="list-style-type: none"> Remise en suspension sédimentaire Destruction mécanique d'habitats Colmatage des fonds
Chimique	Remise en suspension de contaminants provenant des sédiments	<ul style="list-style-type: none"> ↘ anoxie l'été ↘ relargage de PO43- ↗ oxygène dissous 	<ul style="list-style-type: none"> ↘ oxygène dissous dans l'hypolimnion, ↗ risque anoxie l'hiver si colonne d'eau pas assez mélangée ↗ nitrification, production de méthane et H₂S 	Remise en suspension de contaminants provenant des sédiments
Biologique	<ul style="list-style-type: none"> Perte de biodiversité du compartiment macrophyte favorable à l'installation d'espèces rudérales, exotiques envahissantes Mortalité de la macrofaune benthique liée au colmatage Impact sur les réseaux trophiques 	<ul style="list-style-type: none"> ↘ développement bactérien ↘ prolifération algale et crises dystrophiques estivales ↘ vigilance poissons ↗ zooplancton ↗ développement macrophytique car ↘ compétition phytoplancton pour ressources lumineuses et nutritives ↗ substrats pour macrofaune benthiques et macrophytes 	<ul style="list-style-type: none"> ↘ efficacité prédation visuelle Modification de la composition des compartiments phytoplanctonique : Promotion d'espèces plus compétitrices en milieu faiblement éclairé : diatomées filamenteuses, cyanobactéries, Modification des interactions trophiques ; 	<ul style="list-style-type: none"> Perte de biodiversité du compartiment macrophyte favorable à l'installation d'espèces rudérales, exotiques envahissantes Mortalité de la macrofaune benthique liée au colmatage Impact sur les réseaux trophiques

2.3. POINT SUR LES AUTRES COMPARTIMENTS POINTES PAR LE CSRPN GRAND-EST

La littérature scientifique concernant l'impact des PV flottants sur les compartiments insectes, oiseaux et chiroptères n'est pas très développée. Les paragraphes suivants présentent un récapitulatif des informations mises en évidence par la synthèse bibliographique.

2.3.1. Impacts sur l'entomofaune

De nombreux insectes passent une partie ou tout leur cycle biologique en milieu aquatiques. Leur succès reproducteur dépend de la qualité du milieu aquatique dont ils dépendent pour se reproduire ou pour certaines périodes de leur cycle de vie. Aucune étude n'a approfondi spécifiquement l'impact de l'implantation de PV flottants sur l'entomofaune à notre connaissance.

1. La majorité des impacts identifiés sur ces peuplements est liée à des perturbations des habitats en phase de mise en place. Ils ont été bien décrits lors de l'étude d'impact.

2. En phase d'exploitation, parmi les références à l'impact des PV flottants sur l'entomofaune, certaines études indiquent que certains types de panneaux photovoltaïques auraient un impact négatif sur ce succès reproducteur, en désorientant les communautés utilisant la polarisation horizontale de la lumière dans la masse d'eau pour identifier les sites de pontes optimaux. En conséquence, l'installation de PV flottants pourrait occasionner un échec de la reproduction de certaines espèces, entraînant leur disparition rapide du milieu. Cet effet a été documenté pour les populations de Trichoptères, Tabanidae, Ephéméroptères, et Chironomidae (Blahó et al., 2012; Horváth et al., 2014). Cependant, cette problématique peut être résolue en modifiant la structure des panneaux photovoltaïques pour minimiser cet effet (Horváth et al., 2010; SOUBELET et al., 2021).

Un autre effet documenté est lié à l'ombrage lié à la présence d'un parc photovoltaïque, qui réduirait la fréquentation des insectes pollinisateurs dépendants de l'énergie solaire pour activer leur métabolisme. Cet effet nous semble peu pertinent au vue de l'installation des PV sur un plan d'eau (Marx, 2022).

3. En phase de démantèlement, les mêmes impacts que pour la phase de mise en place ont été identifiés et bien décrits dans l'étude d'impact.

2.3.2. Impacts sur l'avifaune et les chiroptères

Comme l'étude d'impact l'a mis en évidence, l'avifaune et les populations de Chiroptère sont fortement dépendantes des milieux aquatiques dont elles se servent particulièrement pour la recherche de nourriture, et la nidification. Il existe malheureusement peu d'études abordant l'impact de la présence de PV flottant sur ces communautés.

1. La majorité des impacts identifiés sur ces peuplements est liée à des perturbations des habitats en phase de mise en place. Ils ont été bien décrits lors de l'étude d'impact.
2. En phase d'exploitation, parmi les impacts identifiés, des collisions ont été rapportées, occasionnant la mort des individus (SOUBELET et al., 2021). Elles sont cependant bien moins documentées que pour les parcs éoliens pour lesquels des épisodes de mortalité de masse ont pu être rapportés en conditions de visibilité réduite, et il n'y a pas suffisamment de données pour établir une relation directe entre la polarisation des panneaux et les collisions observées (Marx, 2022). A l'inverse, plusieurs études ont documenté l'usage des PV flottants comme perchoir ou lieu de nidage pour la faune aérienne locale ou migratrice, bien que ces usages ne soient pas souhaitables pour la SMEG puisqu'ils sont susceptibles de réduire l'efficacité du dispositif (Exley et al., 2021). L'utilisation des PV flottants comme perchoir ou zone de nidage n'est également pas souhaitable pour la qualité du milieu aquatique au droit du parc, car ces communautés produisent des fientes, riches en phosphore et azote, susceptibles d'eutrophiser le milieu et de favoriser des efflorescences algales (Exley et al., 2021).

L'effet négatif identifié pour les insectes polarotactiques, favorisant leur ponte sur les panneaux plutôt que dans le plan d'eau, pourrait être favorable aux oiseaux et aux chiroptères (bergeronnettes, moineaux, mésanges charbonnières notamment), dont la prédation sur les insectes piégés ou posés sur les panneaux a été mise en évidence. Cependant si ces populations s'épuisent du fait de la baisse de leur succès reproducteur, leurs prédateurs pourraient en pâtir sur le long terme (Marx, 2022).

3. En phase de démantèlement, les mêmes impacts que pour la phase de mise en place ont été identifiés et bien décrits dans l'étude d'impact.

3. MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION

3.1. MESURES D'ÉVITEMENT ET DE RÉDUCTION

● Mesures d'évitement

Un certain nombre de mesures d'évitement ont déjà été décrites dans le dossier d'étude d'impacts, en particulier sur les milieux terrestres avoisinants les plans d'eau, et sur leurs berges. Concernant les milieux aquatiques, les principales mesures d'évitement présentées dans le dossier concernent :

- **La localisation et le dimensionnement des centrales** qui évite :
 - les habitats de berge peu profond, souvent les plus biogène (bande préservée de 10 m),
 - les anses et annexes hydrauliques, offrant des habitats diversifiés et les plus attractifs.
- **Risque pollution de l'eau** :
 - Phase travaux : Absence totale d'utilisation de produits polluants pour l'entretien des équipements au sein de l'emprise du projet
 - Phase exploitation : Utilisation de matériaux non polluants et adaptés pour les éléments de la structure flottante en contact avec l'eau (ex : flotteur en PEHD additionné de stabilisateur UV et certifié usage « Eau Potable »)
- **Espèces exotiques envahissantes** :

Les travaux étant réalisés sur deux sites distincts présentant des cortèges d'espèces différents, les phases de chantier pourraient favoriser la prolifération ou la transplantation d'espèces végétales exotiques envahissantes au détriment des macrophytes à croissance plus lente, ainsi que des poissons (rappel : la perche soleil n'a été identifiée que dans le plan d'eau nord).

A ce jour seul le robinier pseudo-acacia a été identifié et fait l'objet de proposition de mesures. Nous pouvons proposer en complément :

- une surveillance des berges et de la surface des plans d'eau pour éviter le développement d'espèces telles que la Jussie (*Ludwigia grandiflora*, *Ludwigia peploides*) ou l'herbe à alligator (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb). Pour ce faire, des mesures pourront être mises en œuvre :
 - Nettoyage du matériel avant leur première utilisation sur site puis régulièrement durant les travaux (pour éviter l'introduction de nouvelles espèces) ;
 - Identification des herbiers d'espèces potentiellement envahissantes (inventaire de la végétation aquatique), et retrait en anticipé dans les zones où des interventions seraient prévues (pour éviter leur dissémination) ;
 - Sensibilisation du responsable de chantier à cette problématique. La non-propagation des espèces « invasives » devra apparaître dans le cahier des charges des entreprises effectuant les travaux ;
 - Re-végétalisation des berges mises à nu à l'aide de semences locales et certifiées pour éviter la colonisation par des espèces exotiques envahissantes qui apprécient particulièrement les terrains perturbés.
- Des précautions particulières et une adaptation du chantier pour éviter l'introduction accidentelle de la perche soleil (individus ou œufs) dans le plan d'eau sud.
 - Mesures de nettoyage et de sensibilisation identiques aux mesures ci-dessus,
 - Si les deux chantiers sont réalisés l'un après l'autre alors **intervention d'abord dans le plan d'eau sud puis dans le plan d'eau nord** ;
 - Si les deux chantiers sont menés en parallèle alors intervention hors période de reproduction de la perche soleil, **soit un chantier à réaliser entre septembre et avril.**

● Mesures de réduction

Parmi les mesures de réduction des impacts sur le milieu aquatique préconisées dans le cadre de l'implantation des PV flottants, et sur la base de la littérature blanche et scientifique exploitée, nous pouvons proposer/préciser les mesures suivantes en complément de celles incluses dans l'étude d'impact.

- **Taux d'occultation :**

Un taux occultation inférieur à 40% permet, d'après les modélisations issues de la littérature scientifique, des effets sur les milieux aquatiques modérés voire non significatifs. Le recouvrement global du parc prévu dans le cadre de ce projet est estimé à 36%, soit < 40%. De plus, la structure de la centrale flottante n'engendre pas une occultation totale de la zone en eau. En effet, il persiste des espacements entre chaque panneau permettant à la lumière de pénétrer dans la colonne d'eau sous la plateforme solaire. Concernant la solution technique « Hydrelío » développée par la société Ciel&Terre (présentée dans le cadre de ce projet), le taux de recouvrement réel en tenant compte des différentes zones de jour (Figure 9) est d'environ 80%, dont une occultation maximale de 89% sous les panneaux. **Ainsi, en tenant compte de ces zones ajourées, le recouvrement réel des deux centrales flottantes sur la surface en eau est de 28.8%** (Figure 10).

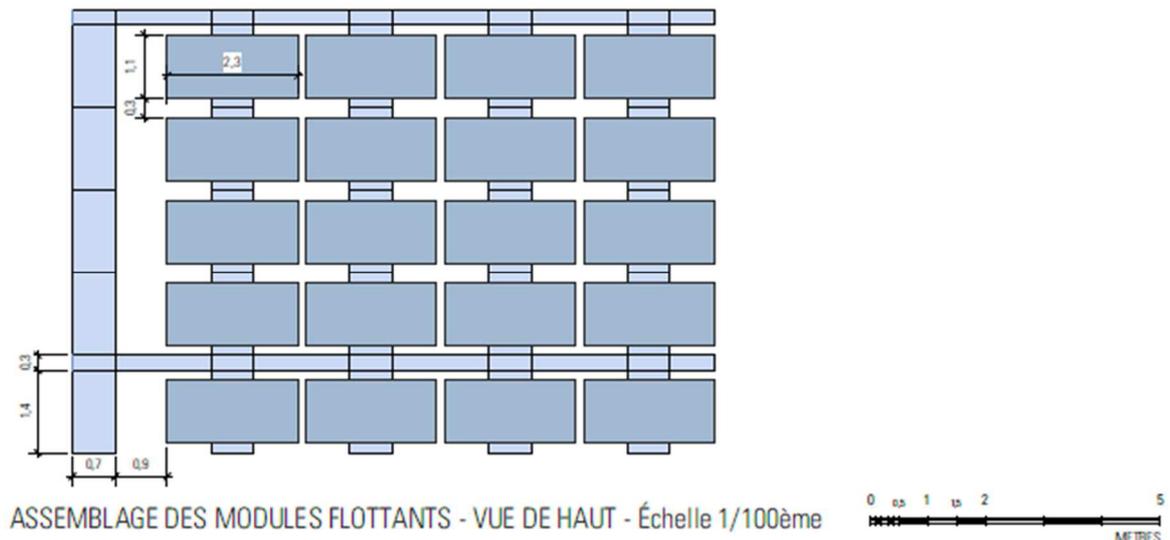


Figure 9. Vue aérienne de la structure des panneaux flottants (solution Hydrelío de Ciel&Terre). Des zones de jour sont présentes, et doivent être retirées du pourcentage de recouvrement pour obtenir le pourcentage de recouvrement réel de la structure sur la masse d'eau. Tiré du permis de construire du projet.

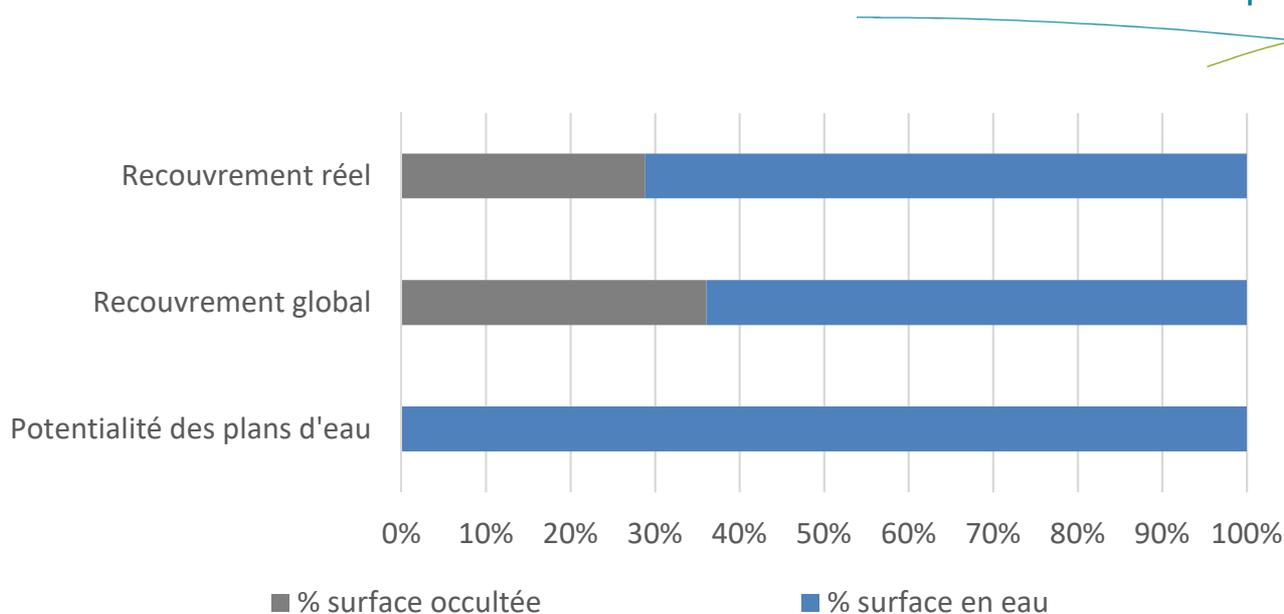


Figure 10. Réduction du taux d'occultation du projet après mise en œuvre de la mesure de réduction MR1

- **Faucardage/arrachage avant travaux :**

A l'heure actuelle, nous ne disposons pas d'informations suffisamment étayées permettant d'évaluer l'impact potentiel des PV flottants sur la végétation aquatique. Cette impact a été jugé dans l'étude d'impact non significatif au vue des profondeurs estimées par les propriétaires du site. Il semble cependant, au vue des images aériennes les plus récentes (Figure 4) que le plan d'eau sud présente un recouvrement végétal significatif, y compris dans les zones potentielles d'implantation du dispositif. Cette information reste encore à confirmer.

Si c'était le cas, il est peu probable que les espèces végétales présentes revêtent un enjeu environnemental particulier, étant donné le peu d'ancienneté du milieu et ses caractéristiques. Dans le cas où des herbiers d'espèces avec peu d'enjeu seraient bien présentes au droit des zones d'implantation des PV flottants, le recouvrement de 5.9 ha de la surface du plan d'eau sud pourrait avoir un impact sur l'équilibre du milieu. En effet, l'ombrage généré par les PV devrait provoquer une dégénérescence des herbiers situés sous leur emprise. Cette matière organique en excès, lors de sa dégradation (reminéralisation bactérienne) pourrait provoquer un épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau, pouvant potentiellement mettre en danger d'anoxie tous les organismes aquatiques du plan d'eau.

Pour prévenir cette problématique, un faucardage ou un arrachage mécanique des herbiers de macrophytes situés sous l'emprise des flotteurs est préconisé en amont de leur installation (Figure 11).



Figure 11 : faucardage mécanique d'un étang (source : etang-solution.com)

Cette opération de faucardage devra être réalisée avant le mois de février de l'année des travaux afin :

- D'éviter le dérangement et la destruction d'espèces et/ou de pontes sur les herbiers qui seront détruits ;
- D'éviter la repousse printanière des herbiers.

Cette mesure permet donc de réduire l'impact du projet à deux niveaux :

- Réduire les apports de matières organiques suite à la dégénérescence des herbiers situés sous l'emprise des structures flottantes ;
- Éviter la destruction de ponte potentielle d'espèces d'intérêt.

3.2. IMPACT RESIDUEL

Cette partie intervient en complément du chapitre 2.5 de l'étude d'impact.

3.2.1. Végétation aquatique et habitats

● Végétation aquatique

Dans l'étude d'impact, le chapitre 2.5.1 conclut par un impact non significatif du projet sur les herbiers aquatiques à Potamot luisant. Il nous semble utile de tempérer ces conclusions. En effet, il paraît clair que les deux plans d'eau ont des caractéristiques spécifiques. Le plan d'eau sud, plus ancien (fin d'exploitation en 2012, source SMEG) semble être à un stade d'évolution plus avancé que le plan d'eau nord (fin d'exploitation en 2018). L'eau semble moins turbide, la végétation aquatique plus développée, et la profondeur de ce plan d'eau semble également plus faible que celle du bassin nord. Toutes ces indications laissent à penser que la végétation aquatique pourrait être significativement développée *a minima* sur le plan d'eau sud. Ces informations restent à vérifier. Deux hypothèses peuvent donc être formulées :

- Les deux plans d'eau sont, comme l'estiment les propriétaires de la zone d'étude, d'une profondeur atteignant 6 à 8 m dans les zones d'implantation prévue des panneaux : **l'impact sur la végétation aquatique serait non significatif**, puisque des mesures d'évitement consistant en la préservation des zones les plus biogènes (berges, hauts fonds et anses) ont été prévues dans l'étude d'impact.
- L'un des deux voir les deux plans d'eau ne sont finalement pas profonds, et présentent des profondeurs maximales inférieures à 3 m (ce qui semble être le cas pour le plan d'eau sud), ce qui aurait (ou pourrait) favorisé le développement d'une végétation aquatique dont le recouvrement et la composition restent à déterminer. **Dans ce cas, l'impact résiduel de l'implantation des PV flottant est considéré comme faible** au vu des mesures d'évitement des zones les plus biogènes et du pourcentage de recouvrement modéré du plan d'eau.

● Phytoplancton

Le phytoplancton n'a pas fait l'objet d'une étude des impacts résiduels dans l'étude d'impact. Au vu des éléments extraits de l'étude bibliographique effectuée, et sans plus d'éléments sur la composition de ce compartiment dans les deux plans d'eau, plusieurs hypothèses peuvent être formulées :

- **L'impact résiduel sera non significatif à faible** compte tenu du recouvrement modéré des PV sur les plans d'eau et des mesures d'évitement et de réduction proposées ;
- **L'impact résiduel pourrait être significatif** si une chute de la biomasse et un changement de la composition des communautés est observée en réponse à la réduction du PAR⁴. Une perte de la disponibilité lumineuse peut induire le développement de cyanobactéries et de diatomées potentiellement toxigènes.

3.2.2. Faune aquatique

● Peuplement piscicole

Dans l'étude d'impact, le chapitre 2.5.2 n'aborde pas le compartiment poisson. Un premier inventaire a été dressé, mettant en évidence une faible diversité et l'absence d'espèce à enjeu patrimonial ou écologique. **Au regard des deux peuplements en place et du dimensionnement du projet, les impacts résiduels sur ce compartiment sont donc considérés comme non-significatifs.**

● Macrofaune benthique

L'étude d'impact n'a également pas fait mention du compartiment macrofaune benthique. Si peu d'informations ont pu être mises à jour sur cet élément, il est possible que le projet ait un impact résiduel sur ces organismes. Deux hypothèses peuvent être formulées :

- **L'impact résiduel sera non significatif à faible** compte tenu du recouvrement modéré des PV sur les plans d'eau et des mesures d'évitement et de réduction proposées ;
- **L'impact résiduel pourrait être significatif, soit négativement** (par exemple altération des herbiers qui constituent un refuge pour ces organismes) **soit positivement**, du fait de la création de nouveaux supports de colonisation (flotteurs, ancres) diversifiant le substrat majoritairement composé d'argiles et de sable peu biogènes.

⁴ Rayonnement photosynthétiquement actif (en anglais Photosynthetically Active Radiation)

4. PROPOSITIONS DE SUIVI

Du fait de son exploitation plus récente, le plan d'eau nord peut présenter des caractéristiques physico-chimiques et fonctionnelles très différentes de celle du plan d'eau sud. La connaissance de l'état initial des deux plans d'eau est indispensable pour réaliser leur diagnostic écologique et évaluer l'impact potentiel de l'implantation des PV flottants. La qualité de l'eau conditionne l'état et le fonctionnement des compartiments biologiques de l'hydrosystème. Il paraît également indispensable de définir l'état initial des compartiments biologiques aquatiques pour évaluer au mieux l'impact de l'implantation du parc photovoltaïque sur ces écosystèmes (habitats et communautés associées). Une proposition de suivi par compartiment est proposée afin de combler les lacunes de l'étude d'impact précédemment effectuée.

Par ailleurs, en raison de leur développement industriel récent à l'échelle biologique, l'impact réel des centrales photovoltaïques flottantes sur les milieux aquatiques est encore mal connue et difficile à anticiper. C'est pourquoi, il apparaît important d'inclure également en phase exploitation de ces nouveaux projets un suivi environnemental permettant d'analyser l'évolution du milieu aquatique et de confirmer l'absence d'impact significatif pour le milieu.

4.1. DEFINITION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES MILIEUX AQUATIQUES

4.1.1. Campagnes de mesure

Pour les deux plans d'eau d'implantation, des mesures de paramètres physico-chimiques et hydromorphologiques *in situ* (température, oxygène dissous, saturation, pH et conductivité, transparence) seront effectuées pour définir leur état initial. La DCE propose un protocole sur la base de 4 campagnes pour le suivi de la qualité des plans d'eau. Ainsi, nous proposons :

- Une première campagne en début de printemps (mars-avril) avant le début des développements phytoplanctoniques, lorsque les températures commencent à se réchauffer. Cette campagne peut-être optionnelle.
- Une seconde campagne en fin de printemps (courant mai/juin), correspondant à la période de démarrage et de développement de l'activité biologique des plans d'eau. Il s'agit de la période de mise en place de la stratification thermique conditionnée par le réchauffement, durant laquelle l'activité biologique atteint son maximum.
- Une troisième campagne en milieu d'été (courant août), correspondant à la période de stratification maximum des plans d'eau avec une thermocline bien installée. Elle correspond à la 2ème phase de croissance du phytoplancton. Cette phase intervient en période estivale. Cette campagne permet de disposer des maximums de température et des extrêmes d'oxygénation, deux paramètres qui seront directement impactés par l'installation des panneaux photovoltaïques.
- Une quatrième campagne automnale avant le refroidissement des eaux.

4.1.1.1. Point de mesure

Les mesures et prélèvements seront réalisées au point de plus grande profondeur (Lepot and Marescaux, 2017). Ce point sera repéré *in situ* par échosondeur (Figure 12).

4.1.1.2. Mesures des paramètres *in situ*

Dès l'arrivée sur station, la transparence est mesurée à l'aide du disque de Secchi (3 relevés pour calculer ensuite la moyenne) sur les deux plans d'eau.

Les mesures *in situ* de température, oxygène dissous, saturation, pH et conductivité seront effectuées à l'aide d'une sonde multiparamètres sur les deux plans d'eau (Figure 12). Chaque paramètre sera mesuré tous les 1 mètre sur le profil vertical de la surface au fond (ou 50 cm si les plans d'eau ont une profondeur maximale

inférieure à 3 m). Des relevés plus rapprochés (tous les 0,5 m ou 0,3 m) seront effectués dans les zones de variations verticales des paramètres. Les différentes zones à identifier sont les suivantes :

- Subsurface (-10 cm) ;
- Zone euphotique (2,5 fois la transparence mesurée au disque de Secchi), le prélèvement intégré est fait dans cette tranche d'eau ;
- Thermocline (variation brutale de la température) ;
- Oxycline (variation brutale de la teneur en oxygène) ;
- Interface eau-sédiment.

Une fiche de terrain regroupe les relevés réalisés et les observations lors des prélèvements (météorologie, couleur de l'eau, développement d'algues, ...). La cote du plan d'eau est relevée (marnage) si une échelle ou un point de repère est disponible.



Figure 12. Matériel de mesure in situ, Echobsondeur pour rechercher la plus grande profondeur à gauche, sonde multiparamètres à droite.

Le Tableau 3 précise les limites de quantification des relevés physico-chimiques *in situ*.

Tableau 3. Limites de quantification des relevés physico-chimiques *in situ*.

Paramètres in situ dans l'eau	limites de quantification
Température	0,1°C
Oxygène dissous (mg/l)	0,1 mg/l
Oxygène dissous (% de saturation)	1%
pH (unité pH)	0,1
Conductivité (µS/cm)	10 µS/cm

4.1.1.3. Prélèvements d'eau et paramètres analysés

Deux prélèvements pour analyses physicochimiques (uniquement macropolluants minéraux et organiques pour l'échantillon intégré) seront effectués par plan d'eau :

- L'échantillon intégré : Pour cet échantillon, un prélèvement « intégré » sur une colonne d'eau égale à 2,5 fois la transparence mesurée préalablement au disque de Secchi, est fait, soit au tuyau intégrateur, soit à la bouteille à prélèvement ;
- L'échantillon ponctuel de fond est prélevé à environ 1 m du fond, à la bouteille à prélèvement (Figure 13).



Figure 13. Bouteille à prélèvement en profondeur (prélèvements d'eau)

Un soin particulier est apporté au rinçage des flacons (selon consignes du laboratoire le cas échéant) et à la propreté inhérente aux prélèvements : arrêt du moteur avant l'atteinte de la zone de prélèvement, propreté de l'embarcation et du matériel, limitations des transvasements lors du remplissage des flacons, etc.

Les échantillons stockés en glacières réfrigérées sont envoyés par transporteur express le jour même (dépôt des échantillons généralement avant 18h). Les échantillons arrivent au laboratoire au maximum 24h après le prélèvement (cas des prélèvements du matin). Le laboratoire est averti au préalable de l'arrivée des échantillons : ceux-ci peuvent être, de ce fait, traités dès leur arrivée.

L'analyse chimique de l'eau concerne les 4 campagnes. Concernant les analyses, les paramètres suivants sont mesurés :

- Sur le prélèvement intégré destiné aux analyses de physico-chimie classique et de la chlorophylle :
 - MES, COD, DBO5, DCO, PO_4^{3-} , P_{tot} , NH_4^+ , NKJ, NO_3^- , NO_2^- ;
 - Chlorophylle *a* et indice phéopigments⁵ ;
- Sur le prélèvement de fond :
 - MES, COD, DBO5, DCO, PO_4^{3-} , P_{tot} , NH_4^+ , NKJ, NO_3^- , NO_2^- ;

Les limites de quantification sont compatibles avec l'interprétation selon les référentiels en cours (*Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance, 2018*).

4.1.2. Prélèvements de sédiments et paramètres analysés

L'homogénéité du plan d'eau pouvant être perturbée par la remise en suspension des sédiments lors de l'implantation, et du démantèlement du parc photovoltaïque, une analyse physico-chimique de ces sédiments en un point par plan d'eau lors de la dernière campagne automnale sera réalisée.

Les paramètres à analyser sur un prélèvement de sédiments sont les suivants :

- Phase solide : pH, COT, $CaCO_3$, NKj, perte au feu, P_{total} ;
- Eau interstitielle : pH, conductivité, P_{total} , NH_4 , PO_4 .

⁵ Produits de dégradation de la chlorophylle *a* et de ses dérivés, donnant une indication de l'état physiologique du compartiment macrophytique (vieillissant, en cours de dégradation, etc.)

4.1.3. Conditionnement, transport et analyses en laboratoire

Un soin particulier est apporté au rinçage des flacons (selon consignes du laboratoire le cas échéant) et à la propreté inhérente aux prélèvements : arrêt du moteur avant l'atteinte de la zone de prélèvement, propreté de l'embarcation et du matériel, limitations des transvasements lors du remplissage des flacons, etc.

Les échantillons stockés en glacières réfrigérées sont envoyés par transporteur express le jour même (dépôt des échantillons généralement avant 18h). Les échantillons arrivent au laboratoire au maximum 24h après le prélèvement (cas des prélèvements du matin). Le laboratoire est averti au préalable de l'arrivée des échantillons : ceux-ci peuvent être, de ce fait, traités dès leur arrivée.

Les analyses chimiques seront réalisées par un laboratoire agréé et accrédité (le Laboratoire Santé Hygiène Environnement de Lyon – CARSO) avec qui nous travaillons très régulièrement.

Les limites de quantification sont compatibles avec l'interprétation selon les référentiels en cours (*Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance, 2018; Barbe et al., 1990*).

4.2. COMPARTIMENT PHYTOPLANCTON

Comme évoqué ci-avant, le compartiment phytoplanctonique constitue la base des réseaux trophiques et est susceptible d'impacter l'ensemble des réseaux trophiques en cas de modification de sa biomasse ou de sa diversité. Définir l'état initial de ce compartiment, et suivre son évolution notamment après la phase de mise en place du dispositif pourrait aider à évaluer l'impact des panneaux photovoltaïque flottant sur la zone d'étude.

4.2.1. Méthode

Pour approfondir les connaissances sur ce compartiment, une méthode d'évaluation compatible avec les exigences de la Directive Cadre sur l'Eau a été proposée à l'échelle nationale : l'IPLac, *i.e.* Indice Phytoplancton Lacustre (Feret and Laplace-Treytore, 2012). L'Indice Planctonique LACustre (IPLAC) répond aux pressions chimiques (eutrophisation) des milieux et plus particulièrement au phosphore total. Il s'applique aux lacs naturels et aux plans d'eau artificiels à l'échelle du territoire national (métropole).

L'indice IPLac repose sur le calcul de deux métriques différentes :

- Une métrique de composition spécifique (MCs) qui nécessite un inventaire des espèces présentes durant la période végétative permettant de dresser une liste floristique. Cette métrique permet de qualifier le niveau de trophie d'un plan d'eau à partir de la diversité taxonomique. Pour chaque taxon, un profil écologique a été préalablement défini selon un gradient trophique. Ce profil inclut un optimum (cote spécifique) et une tolérance (coefficient de sténocécie). A partir de la liste de taxa établie, une note finale est déterminée, en mesurant l'écart entre la valeur obtenue dans le milieu en l'état et celle qui serait attendue dans un milieu en condition de référence (pas ou peu d'impact anthropique sur le milieu) Cette note comprise entre 0 et 1 est appelée EQR (Ratio de qualité écologique - *Ecological Quality Ratio*).
- Une métrique de biomasse algale (MBA) qui nécessite un dosage de Chlorophylle *a* dans la zone euphotique et de profondeur moyenne du plan d'eau. Cette métrique permet de caractériser la trophie du plan d'eau, et semble particulièrement corrélée à la concentration en phosphore total.

Au cours des 4 campagnes, le phytoplancton sera prélevé dans chaque plan d'eau à l'aide d'une bouteille intégratrice dans la zone euphotique (Figure 13, voir paragraphe précédent). Un aliquote de l'échantillon équivalent à 500 ml sera rapporté au laboratoire. Un dosage de la biomasse chlorophyllienne (chlorophylle *a*) sera effectué sur cet échantillon et exprimée en µg/L.

En complément, un deuxième échantillon par plan d'eau sera prélevé à l'aide d'un filet à plancton (de maille 10 µm) sur un trait vertical de la zone euphotique afin de disposer de suffisamment de matériel pour faciliter certaines identifications taxonomiques et la préparation de lames de diatomées (si nécessaire). Il sera

conservé dans un pilulier et fixé à l'aide de lugol (concentration 0,5 %) aussitôt après le prélèvement. Les échantillons seront également stockés au frais et à l'obscurité jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

Lors des prélèvements, les différentes observations environnementales seront reportées sur la fiche de terrain et intégrées dans les commentaires relatifs au phytoplancton.

4.2.2. Enregistrement des échantillons

Conformément aux procédures de traçabilité des échantillons faune-flore mises en œuvre, les échantillons sont enregistrés individuellement dans le registre spécifique dès leur réception.

4.2.3. Dénombrements

Les dénombrements seront réalisés par comptages à l'espèce dans la mesure du possible (les formes de reproduction sont parfois nécessaires), sinon au genre ou au groupe, avec un double compte : nombre d'individus-nombre de cellules. Ces organismes peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires (colonies, filaments, ...), d'où des modes d'évaluation quantitative différents, soit en termes de densité algale (nombre d'individus par millilitre) soit en termes de densité cellulaire (nombre de cellules par millilitre).

Les échantillons sont mis à sédimentés en colonne afin de concentrer les cellules dans un volume réduit (Figure 14). Ainsi, le comptage est réalisé sur le fond de la colonne, dans un volume connu permettant ensuite de quantifier la densité cellulaire dans l'échantillon. La règle pour le temps de sédimentation est de 4 heures par cm de hauteur de colonne de sédimentation pour un échantillon d'eau douce fixé au lugol (e.g. il est préconisé 2 heures pour les chambres de volume compris entre 1 et 5 ml).

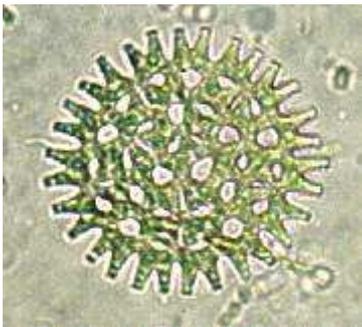


Figure 14. Colonie de Pediastrum à gauche, et colonne de sédimentation de 10 ml à droite (CP. Aquascop)

Les déterminations requièrent parfois des observations préalables au comptage réalisées au microscope droit entre lame et lamelle afin d'établir la liste floristique. De même, la préparation de lames de diatomées en parallèle (cf. NF-T90-354) est également nécessaire lorsque les diatomées sont abondantes dans l'échantillon (abondance supérieure à 20 % en nombre d'individus) et non identifiables sans préparation particulière.

Un outil de comptage informatique (Phytobs), développé par l'IRSTEA et conforme aux règles générales de la norme NF EN 15204, est mis à disposition de notre équipe d'algologues. Il facilite les saisies des noms d'espèces et calcule directement les abondances et les biovolumes à partir du volume sédimenté, du grossissement et du résultat du comptage au microscope. L'incertitude sur les résultats (liée à l'échantillonnage dans le plan d'eau et au sous-échantillonnage pour l'examen microscopique) sera évaluée et consignée. Les biovolumes totaux et l'estimation de la biomasse carbonée seront également fournis (Wetzel and Likens, 2000).

4.2.4. Calcul de l'IPLAC

Le calcul de l'Indice Planctonique LACustre (IPLAC) est à ce jour possible via la dernière version de l'outil PHYTOBS (IRSTEA). La bancarisation des données issues des dénombrements algaux et les teneurs en chlorophylle *a* permettront son calcul selon la méthodologie en vigueur (Ferret and Laplace-Treytoure, 2012).

Chaque étape de traitement est validée par son opérateur et l'ensemble du traitement est contrôlé successivement par le technicien, puis par le responsable du laboratoire. A titre indicatif, environ 1000 échantillons d'algues sont traités tous les ans par les algologues d'Aquascop. Aquascop bénéficie d'un agrément ministériel (Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la vie associative) pour la réalisation de prélèvements et d'analyses pour le contrôle sanitaire des eaux, paramètres phytoplancton et macroalgues. Aquascop a par ailleurs obtenu une extension de sa portée d'accréditation au phytoplancton pour le site d'Angers, suite à une évaluation COFRAC conduite en juin 2017.

4.3. COMPARTIMENT ZOOPLANCTON

Le zooplancton constitue un maillon important de la chaîne alimentaire d'un plan d'eau, également à la base du réseau trophique. Il n'est pas utilisé pour les évaluations au titre de la DCE mais dans certains cas comme celui-ci, il représente une information pertinente sur la qualité biologique du milieu aquatique, et pourrait être fortement impacté par l'implantation des PV flottants. La connaissance de la structure et de la diversité du peuplement zooplanctonique est, de ce fait, un élément supplémentaire pour la compréhension du fonctionnement des plans d'eau et de leur évolution en réponse à la mise en œuvre du projet de la SMEG.

4.3.1. Prélèvement

Aquascop réalise les prélèvements selon la norme NF 15110. Au cours des 4 campagnes, le zooplancton sera prélevé dans chaque plan d'eau à l'aide d'une bouteille intégratrice dans la zone euphotique (voir paragraphe précédent). Un aliquote de l'échantillon équivalent à 500 ml sera rapporté au laboratoire pour analyse.

En complément, un deuxième échantillon par plan d'eau sera prélevé à l'aide d'un filet à zooplancton (30 à 40 µm de maille) sur un trait vertical de la zone euphotique afin de disposer de suffisamment de matériel pour faciliter certaines identifications taxonomiques et la préparation de lames de diatomées (si nécessaire). Il sera contenu dans un pilulier et fixé au lugol (concentration 0,5 %) aussitôt après le prélèvement. Les échantillons seront également stockés au frais et à l'obscurité jusqu'à leur arrivée au laboratoire.

Lors des prélèvements, les différentes observations environnementales seront reportées sur la fiche de terrain et intégrées dans les commentaires relatifs au zooplancton.

4.3.2. Enregistrement des échantillons

Conformément aux procédures de traçabilité des échantillons faune-flore mises en œuvre, les échantillons sont enregistrés individuellement dans le registre spécifique dès leur réception.

4.3.3. Dénombrements

- Le comptage est réalisé sur l'ensemble de l'aliquote (grossissement x 100, x 200 ou x 400 si nécessaire) (Figure 15) ;
- Détermination des Copépodes au niveau des Cyclopoïdes, des Calanoïdes et des Harpacticoïdes et selon leurs stades de développement ;
- Détermination des Crustacées, Rotifères, Rhizopodes au genre en général, à l'espèce si possible ;
- Détermination des Nématodes et des Ciliés au niveau de l'embranchement ;



Figure 15. Exemple de cellules zooplanctoniques identifiées : Protozoaire vu au microscope à gauche, *Bosmina longirostris* à droite (CP. Aquascop)

4.4. HABITATS ET VEGETATION AQUATIQUE

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la végétation aquatique joue de nombreux rôles fonctionnels indispensables au bon fonctionnement des plans d'eau (oxygénation de l'eau, filtration, stabilisation des sédiments, habitats pour de nombreux compartiments tels que la macrofaune benthique, l'ichtyofaune, l'entomofaune, les amphibiens, *etc.*, source de nourriture pour un grand nombre d'organismes, ...). Sa diversité et son recouvrement spatial sont donc des informations capitales dans la définition de l'état initial des milieux et évaluer les conséquences de l'implantation des panneaux photovoltaïques flottants.

4.4.1. Habitats et végétation rivulaire

Certains habitats minéraux ou particularités de berges (bancs de graviers, systèmes racinaires, caches sous berge, arbres surplombants...) constituent des zones privilégiées de ponte ou de cache des poissons. Même si ces derniers ne sont pas affectés par les projets, ils donnent une information importante sur les potentialités d'accueil du plan d'eau pour la faune piscicole, donc sur les enjeux piscicoles. Une identification de ces habitats spécifiques est donc aussi requise.

En berge, une reconnaissance exhaustive de la zone rivulaire des deux plans d'eau (proches des berges, zones peu profondes), qui abrite généralement les plus grandes densités et richesses spécifiques végétales, sera effectuée à pied ou en bateau sur l'ensemble du linéaire. Ces prospections seront réalisées à l'aide d'un râteau et d'un bathyscope (Figure 16).



Figure 16. Prospection à pied de la végétation aquatique rivulaire à l'aide d'un râteau et d'un bathyscope

4.4.2. Habitats et herbiers de macrophytes en pleine eau

Bien que la transparence des plans d'eau soit actuellement inconnue, il est possible que des développements végétaux soient présents dans la zone de pleine eau. Aussi, en complément des prospections de berge, des prospections ponctuelles seront réalisées sur au moins cinquante points régulièrement répartis dans l'ensemble des deux plans d'eau.

Ces points d'observation seront préalablement positionnés (maillage des plans d'eau) et géoréférencés. Chaque point sera prospecté en bateau. A chaque point, les végétaux seront déterminés à vue à l'aide d'un

bathyscope si la visibilité le permet, ou par sondage à l'aide d'un râteau sur manche télescopique ou d'un grappin (Figure 17). En complément, la profondeur et une description sommaire de la nature du fond seront précisées sur la fiche de prélèvement (argile, limon, ...).



Figure 17. Prélèvement de macrophytes au grappin et au râteau.

L'application simultanée de ces deux méthodes permet de disposer d'une liste exhaustive des végétaux présents en relation avec les habitats disponibles.

Une prédétermination sera effectuée directement sur le terrain, et la liste des espèces inventoriées sera dressée. Les macrophytes de détermination délicate (potamots, renoncules, callitriche) et nécessitant une observation à la loupe binoculaire seront récoltés et déterminés au laboratoire. Les espèces rares, patrimoniales ou protégées, ainsi que les espèces invasives seront géolocalisées (Figure 18). Par ailleurs, l'inventaire de la végétation donnera lieu à une cartographie des habitats aquatiques précise sur les deux plans d'eau (Figure 18). La liste floristique détaillera notamment les noms latin et vernaculaire, le statut de l'espèce (protégé, envahissant), divers critères de bioévaluation (statut d'origine, rareté, tendance évolutive, vulnérabilité, etc.) pour chaque espèce. Les données feront l'objet d'une synthèse cartographique (Figure 18).

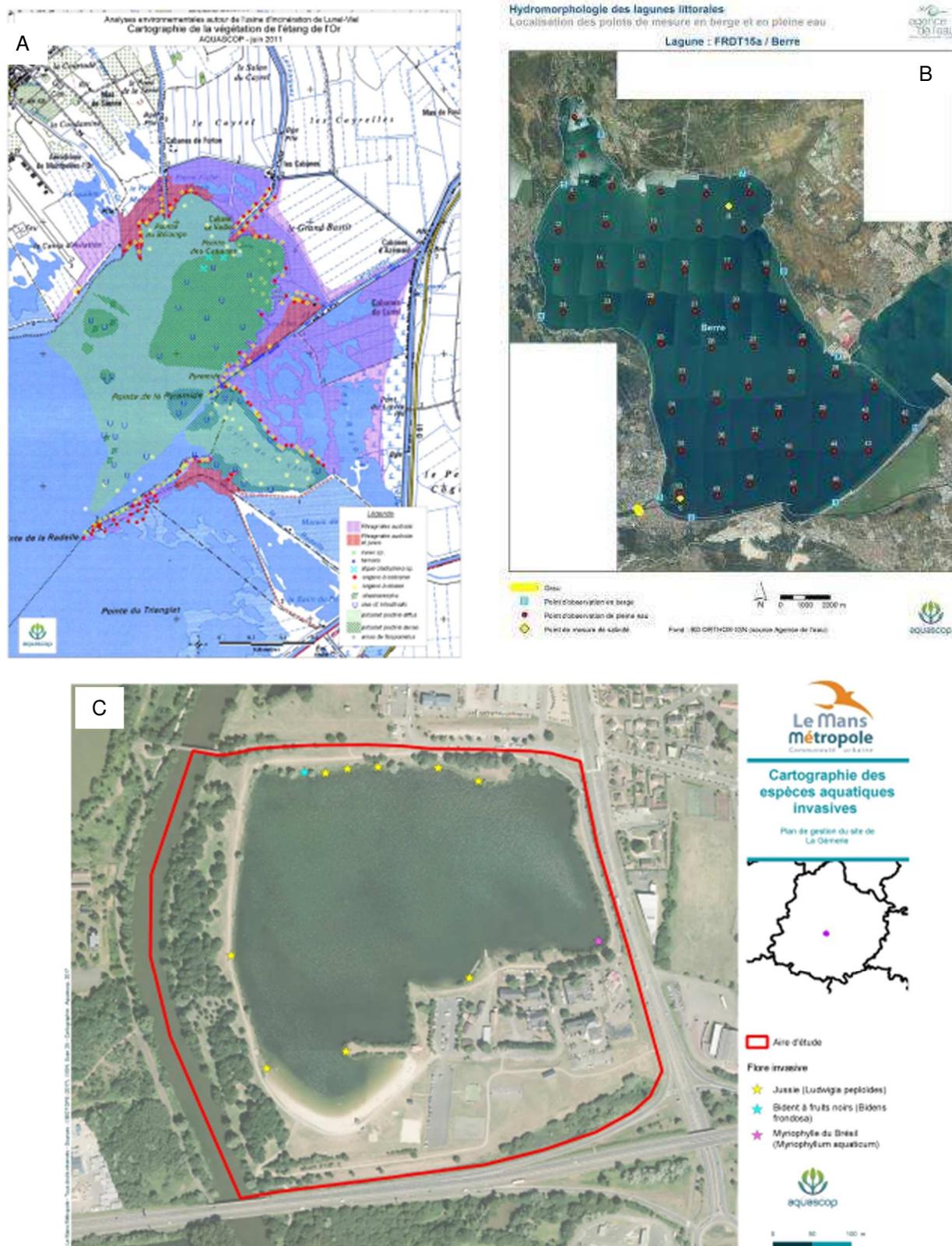


Figure 18. Synthèse cartographique : A. Cartographie de la végétation aquatique ; B. Plan d'échantillonnage régulier en plan d'eau ; C. Cartographie des espèces végétales envahissantes.

4.5. COMPARTIMENT PISCICOLE (OPTION)

Les poissons constituent la fin de la chaîne alimentaire et un enjeu écologique important. L'inventaire effectué pour l'étude d'impact n'a identifié que peu d'espèces de poissons, en indiquant un peuplement différent entre les deux plans d'eau, avec notamment la présence de la perche soleil une espèce susceptible de créer des déséquilibres biologiques dans le plan d'eau nord uniquement.

A ce stade du projet, ces éléments apparaissent suffisants pour évaluer la sensibilité et les enjeux du compartiment piscicole et les impacts prévisionnels du projet.

Toutefois, une étude complémentaire plus approfondie du peuplement piscicole (diversité et structure) pourrait être envisagée afin :

- de confirmer la faible richesse spécifique de la zone d'étude,
- de caractériser plus finement la structure des peuplements piscicoles,
- de vérifier l'absence de colonisation du plan d'eau sur par la perche soleil.

Dans un premier temps, des prélèvements l'ADN environnemental permettront de caractériser les espèces présentes dans les plans d'eau. Si la présence de poissons est avérée et que certaines espèces présentent un enjeu, l'expertise sera complétée par des inventaires par pêche électrique et par pêche au filet. Ces méthodes permettront d'obtenir une image qualitative quasi exhaustive et une bonne image quantitative de la structure du peuplement des deux plans d'eau.

4.5.1. ADN environnemental

La recherche d'ADN environnemental (ADNe) est une technique innovante basée sur l'identification génétique de fragments d'ADN naturellement libérés par les espèces au contact de leur environnement, en particulier dans le milieu aqueux. Cet ADN persiste plusieurs jours dans l'eau avant de se dégrader progressivement, notamment sous l'action des U.V.

C'est une technique parfaitement adaptée au contexte de la présente étude qui présente de nombreux avantages : elle est non intrusive pour le milieu et elle permet de détecter des espèces parfois difficilement observables par des techniques d'inventaires classiques.

En synthèse, cette technique consiste à :

- Filtrer de l'eau du milieu étudié dans plusieurs points d'échantillonnage pour concentrer les fragments d'ADN naturellement laissés par les organismes qui peuplent le milieu (Figure 19) ;
- Extraire cet ADN du filtre ;
- Amplifier les fragments d'ADN à partir de couples d'amorces spécifiques d'une espèce (barcoding) ou d'un groupe d'espèce (métabarcoding ; ex : amphibiens, poissons, ...) (Figure 20) ;
- Identifier les espèces présentes à partir des séquences spécifiques d'ADN amplifiés.

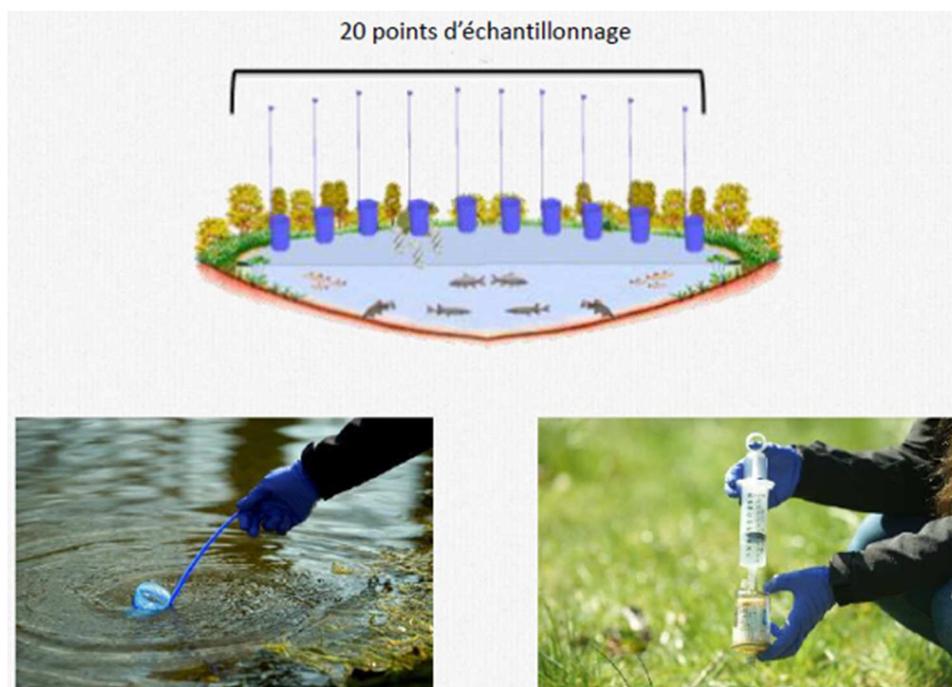


Figure 19. Principe d'échantillonnage d'ADNe en milieu stagnant

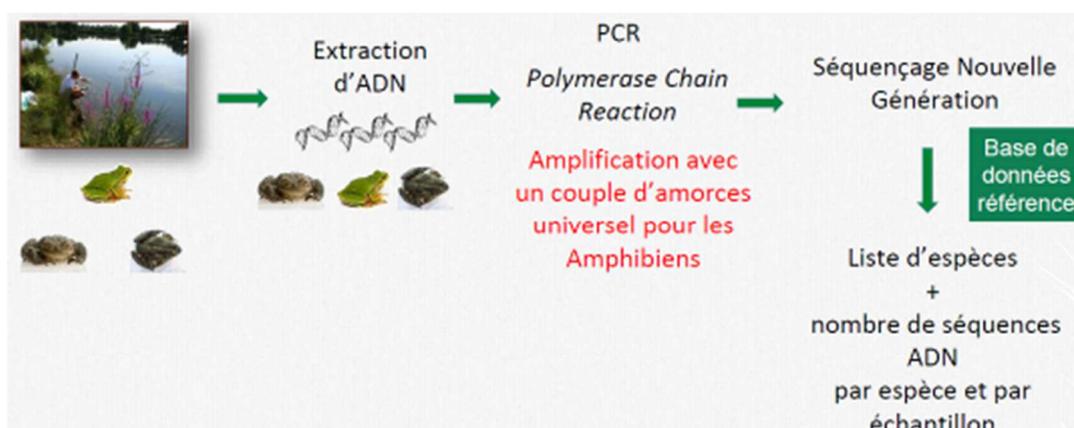


Figure 20. Extraction de l'ADNe et amplification pour analyse

● Campagne de prélèvement

Les laboratoires d'analyse spécialisés préconisent en plan d'eau 1 prélèvement d'ADNe pour une surface de 2 à 4 ha de plan d'eau, soit entre 7 et 14 prélèvements dans le cas présent.

Nous proposons de réduire à 2 prélèvements par plan d'eau compte tenu de la collecte récente de donnée, de la probable faible richesse spécifique de ces plans d'eau et de la relative homogénéité des habitats disponibles. La réalisation de 2 réplicats par plan d'eau permet de fiabiliser la donnée et offre la possibilité de prospecter deux zones géographiques par plan d'eau.

L'analyse des prélèvements sera confiée à un laboratoire spécialisé. Les résultats bruts produits par le laboratoire (délais de 2 à 3 mois en moyenne) sont ensuite analysés par les experts d'Aquascop.

NB : Il est possible d'analyser jusqu'à 3 groupes faunistiques spécifiques dans un seul échantillon. Le site pouvant présenter des espèces aquatiques à enjeux autres que piscicole il est possible de coupler à ce prélèvement la recherche d'autres groupes biologiques (amphibiens, mammifères, bivalves...).

4.5.2. Pêches d'inventaires

Les deux méthodes d'inventaires piscicoles (à l'électricité et au filet) peuvent appliquées conjointement lors d'une seule et même campagne. L'intérêt de coupler ces deux approches est d'associer les résultats :

- **De la pêche aux filets maillants multi-maills** : une méthode d'inventaire passive normalisée permettant d'échantillonner les habitats benthiques profonds et d'évaluer la densité du peuplement en intégrant une unité d'effort d'échantillonnage (CPUE : Capture Par Unité d'Effort (capt/m²/h pose) ;
- **De la pêche électrique** : une méthode d'inventaire active permettant d'évaluer efficacement et sans mortalité la richesse et la densité du peuplement de la zone peu profonde (< 1 m), souvent la zone de berge, et de capturer des espèces difficilement capturables dans des filets maillants (anguille, brochet, carpe, ...).

Ces deux inventaires permettront d'obtenir :

- Une liste faunistique assez complète des espèces présentes ;
- Un diagnostic de l'attractivité et de la fonctionnalité des habitats présents et notamment ceux susceptibles d'être impactés par le projet.

Conformément aux préconisations de ces normes, ces deux investigations devront être réalisées dans la mesure du possible avant octobre, lorsque les poissons sont toujours actifs et en dehors des périodes de reproduction.

4.5.2.1. Autorisations réglementaires

Pour toutes les pêches, Aquascop demandera les autorisations nécessaires auprès de l'administration et des propriétaires du plan d'eau. Nous maîtrisons parfaitement les procédures de demande d'autorisation, avec plus de 100 demandes effectuées chaque année.

Ces demandes d'autorisation revêtent deux difficultés :

- La mortalité piscicole lors de pêches aux filets maillants étant particulièrement importante, l'obtention de l'autorisation du propriétaire et/ou du détenteur du bail de pêche est parfois difficile à obtenir. Une lettre de mission rédigée par le maitre d'ouvrage facilitera grandement cette démarche.
- L'autorisation préfectorale est parfois longue à obtenir. Une personne au sein d'Aquascop est chargée de suivre et de relancer régulièrement les différentes demandes afin de réduire au maximum les délais et de s'assurer que toutes les demandes d'autorisation sont obtenues.

Un tableau de suivi des demandes d'autorisation est établi : il permet de suivre l'avancée des démarches. Ce tableau sera mis à disposition du maitre d'ouvrage (avec les remarques concernant les refus ou les réticences).

Cependant, toute difficulté éventuelle dans l'obtention d'une autorisation sera signalée au maitre d'ouvrage ; et, bien évidemment, aucune intervention sur site ne sera conduite sans autorisation explicite et écrite du propriétaire/gestionnaire.

4.5.2.2. Pêche aux filets maillants

La méthode d'inventaire par pêche aux filets selon la norme NF EN 14757 sera mise en œuvre dans l'ensemble de la retenue. L'échantillonnage du peuplement piscicole dans une retenue, conformément aux prescriptions de la norme NF EN 14757, prévoit l'utilisation de filets multi-maills benthiques et pélagiques.

● Profils physico-chimiques

Au début des investigations, un profil vertical sera réalisé dans la zone la plus profonde du plan d'eau. Les mesures *in situ* (température, oxygène dissous, pH et conductivité) seront effectuées à l'aide d'une sonde multiparamètre. Ces relevés ont pour objet de vérifier la stratification (position de la thermocline et de l'oxyclyne). Les sondes utilisées par AQUASCOP font l'objet d'opérations d'étalonnage et de calibration pour

chacune des campagnes de terrain, avec des fréquences adaptées à la variable mesurée (journalière par exemple pour l'oxygène). On mesurera aussi la transparence à l'aide d'un disque de Secchi.

Une fiche de terrain consigne tous ces relevés et toutes les informations pouvant aider à l'interprétation des résultats de pêche : intervenants, conditions météorologiques (vent, pluie, ...), cote du plan d'eau (marnage), ceintures végétales, signe de blooms algaux, ...

● Pose et relève des filets

Les filets benthiques sont composés d'une succession de 12 nappes de 1,5 m x 2,5 m, de tailles de maille différentes, allant de 5 mm à 55 mm, positionnées dans un ordre aléatoire. Un filet benthique mesure donc 30 m de long pour 1,5 m de haut, soit une surface de 45 m² (Figure 21).

Les filets benthiques sont positionnés aléatoirement dans la retenue (localisation et orientation, cf. plan d'échantillonnage). Ils sont repérés par un flotteur en surface et géolocalisés au moment de leur pose.

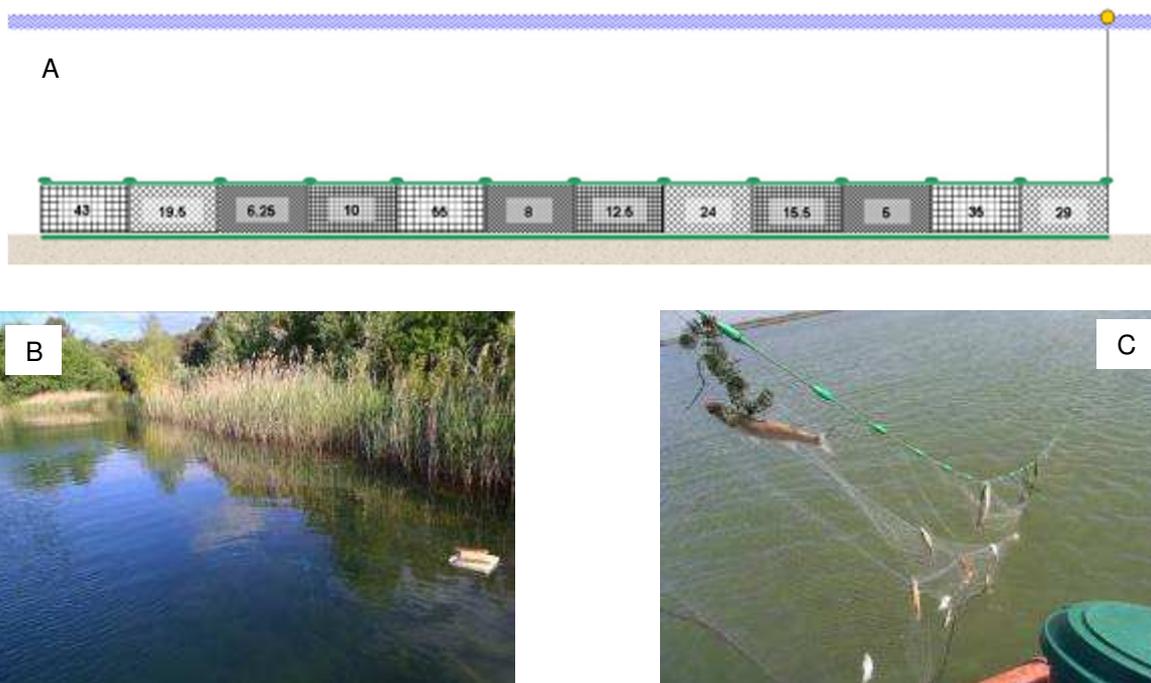


Figure 21. Pêche au filet maillant : A. Schéma de la pose d'un filet benthique ; B. Exemple de filet benthique posé à faible profondeur ; C. Exemple de relève d'un filet benthique.

● Démaillage et biométrie

Après la relève, les captures sont démaillées en berge sur de grandes bâches. Les filets contenant des poissons encore vivants sont traités en priorité. Ceux-ci sont aussitôt pesés, mesurés et remis à l'eau si leur état sanitaire le permet (hors espèces indésirables).

Les opérations de biométrie (taille, poids) sont réalisées selon les prescriptions de la norme XP T90-383 (traitement individuel ou par lots).

Les poissons morts sont stockés dans des containers fermés et récupérés en fin d'intervention par un service d'équarrissage, avec qui un contrat aura préalablement été signé.



Figure 22. Installation d'un poste de démaillage et remise à l'eau d'un brochet encore en vie

● Protocole d'échantillonnage

Conformément aux préconisations de la norme NF EN 14757, le protocole d'échantillonnage (nombre de filets par strate de profondeur) est déterminé en fonction de la profondeur maximale et de la surface de la retenue. Pour une surface de moins de 20 ha par plan d'eau, le nombre de filets maillant à poser fixé par la norme est précisé dans le tableau ci-dessous :

Superficie du lac (ha)	Profondeur maximale (m)	< 6	6 à 11,9	12 à 19,9	20 à 34,9	35 à 49,9
< 20	< 3	4	3	4	4	3
	3 à 5,9	4	3	4	3	3
	6 à 11,9		2	4	3	3
	12 à 19,9			4	3	3
	20 à 34,9				3	2
	35 à 49,9					2
Nombre total de filets par nuit		8	8	16	16	16

Le nombre de nuit nécessaire à la pose des filets (1 nuit pour 8 filets, 2 nuits pour 16 filets) sera précisé en fonction des premiers éléments collectés et notamment de la profondeur maximale du plan d'eau.

La répartition aléatoire des points de pose des filets sera basée sur les données bathymétriques qui nous seront fournies par le maître d'ouvrage. Le plan d'échantillonnage sera donc effectué après fourniture du fichier de bathymétrie et de la cote d'eau prévue au moment des pêches. La démarche est la suivante :

- Visualisation des strates de pêche définies dans la norme : 0-3 m, 3-6 m, 6-12 m, 12-20 m, 20 - 35m. Cette carte doit être faite au préalable en tenant compte de la cote de la retenue prévue au moment de la pêche. Pour ce faire, nous disposons d'un logiciel qui recalculé les courbes de niveau selon la nouvelle cote ;
- carte de plan d'échantillonnage : le plan d'eau est découpé en mailles de 20 m sur 20 m, codifiées en fonction de la profondeur du plan d'eau à cet emplacement ;
- tirage aléatoire par strate sans remise (en fonction de l'abaque de la norme) : aquascop a développé un petit outil informatique, basé sur les données de bathymétrie, qui permet d'effectuer un choix aléatoire des sites de pose des filets.

Le plan d'échantillonnage définit ensuite la répartition des filets par nuit. Cette répartition doit prendre en compte le fait que toutes les strates doivent être pêchées chaque nuit, avec un effort minimal de 8 filets par nuit.

● **Avantage et limite du protocole**

Cette méthode permet un échantillonnage stratifié et aléatoire du plan d'eau. Bien que le protocole prévoit d'échantillonner la majorité des habitats lacustres disponibles, cette technique d'inventaire reste en partie sélective car elle est liée aux comportements propres et à la morphologie de chaque espèce. Ainsi, les espèces plus « mobiles » comme le gardon seront piégées plus fréquemment que d'autres aux mœurs plus « sédentaires » comme le brochet. Par ailleurs, les espèces ou gros individus comme la carpe se prennent difficilement en raison de la taille de la plus grande maille qui est de 55 mm seulement.

De plus, les facteurs physiques et climatiques influencent directement le comportement du peuplement piscicole ce qui peut avoir des incidences sur les résultats. A ce titre, la norme NF EN 14757 préconise une intervention en pleine période d'activité, soit entre les mois de juillet et août. En effet, lorsque la température de l'épilimnion descend en dessous de 15°C, l'efficacité de capture de la plupart des espèces est réduite. Nous réaliserons en début d'intervention un profil vertical (température, oxygène dissous) dans la zone la plus profonde afin de vérifier les conditions physico-chimiques au moment de la pêche.

4.5.2.3. *Pêche électrique de la zone littorale*

● **Matériel et méthode**

Nous proposons de réaliser un inventaire piscicole adapté des préconisations de la norme XP T90-383, en réalisant un total de 100 points d'échantillonnage depuis un bateau, régulièrement répartis le long des berges, soit 1 point tous les 20 m environ.

Les modalités d'échantillonnage et de biométrie respectent les normes NF EN 60335-2-86 (Règles particulières pour les équipements de pêches électriques) et EN 14011 (Echantillonnage des poissons à l'électricité).

Le matériel utilisé est un FEG 8000 (constructeur : société EFKO), matériel homologué pour la réalisation de pêche électrique dans le milieu naturel conformément à la réglementation en vigueur (article L.436-9 du code de l'environnement, décret 88-1056 relatif à la sécurité des travailleurs utilisant du courant électrique, arrêté du 2 février 1989 pour l'utilisation de matériel de pêche électrique).

La technique de pêche électrique repose sur l'utilisation d'un courant continu (redressé) fourni par un groupe électrogène (puissance nécessaire de 1 à 12 Kwa) pouvant aller de 150 à 800 V et de 0,5 à 10 A suivant les caractéristiques physicochimiques de l'eau (minéralisation et donc conductivité). La cathode est immergée près du groupe, l'anode mobile, reliée au groupe par une bobine de fil de longueur adaptée, étant déplacée par l'opérateur. Lorsque l'opérateur trempe l'anode dans l'eau, il s'établit une différence de potentiel entre les deux électrodes, et le poisson situé dans un rayon de 0,5 à 2 m autour de l'anode (suivant le courant utilisé et la conductivité de l'eau) subit l'action du courant électrique (galvanonarcose). Ils peuvent ainsi être capturés, pesés et mesurés (mesures à la fourche) avant d'être remis à l'eau vivants.

● **Principe de la méthode de pêche partielle par points**

Le protocole d'échantillonnage de pêche mise en œuvre dans le cadre de cette étude et décrite ci-dessous respecte les directives de la norme XP T 90-383 (Echantillonnage des poissons dans le cadre des réseaux de suivi, 2008) et apporte des compléments spécifiques adaptés dans le cadre de cette étude.

La stratégie d'échantillonnage retenue pour une pêche partielle par points repose sur les principes suivants :

- la prospection d'unités d'échantillonnage de type ponctuel,
- la collecte d'un échantillon global du peuplement, constitué de deux sous-échantillons :
 - un «sous-échantillon représentatif» constitué de 100 unités d'échantillonnage espacées régulièrement et aléatoirement dans les zones prospectables (berge ou zone peu profonde) de la station de façon à rendre compte de la proportion et de la diversité des faciès pêchables. Ce sous-échantillon représentatif est destiné à appréhender l'abondance relative et la richesse en espèces ;

- un «sous-échantillon complémentaire» facultatif constitué de 1 à 10 unités d'échantillonnage ciblées sur des habitats peu représentés dans la station, mais particulièrement attractifs pour les poissons. Ces habitats sont librement choisis par l'opérateur pour permettre de compléter le cas échéant la liste faunistique par la capture d'espèces rares particulièrement inféodées à ces habitats.

Une biométrie pour chacun de ces sous-échantillons est réalisée permettant une analyse du peuplement (richesse, nombre d'individus par espèce, biomasse par espèce, structure en taille).

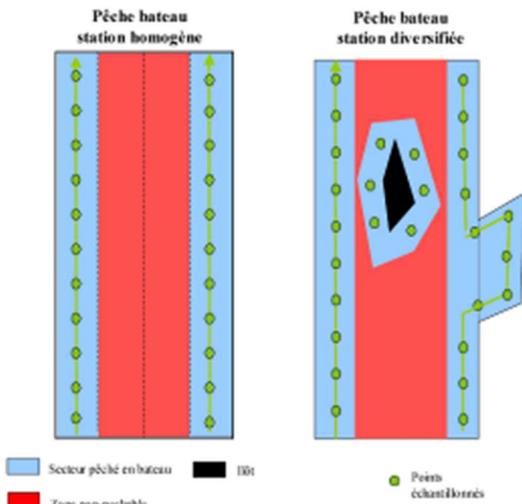


Pêche électrique en bateau



Biométrie des captures

On estime que le rayon d'action de l'anode est d'environ 2 m. En berge, le sondage est réparti sur une longueur d'environ 2 m. Ainsi, la surface moyenne échantillonnée par point est de 12,5 m² (cf. schéma). Cette estimation permet une approche des densités de peuplement. Cependant, compte tenu des limites de la méthode de pêche électrique en bateau qui ne permet pas de sonder efficacement les zones centrales profondes, les résultats d'échantillonnage apportent une description qualitative du peuplement ; l'estimation quantitative (nombre d'individus et biomasse à l'hectare) n'est donnée qu'à titre indicatif.



Répartition des unités ponctuelles dans la station

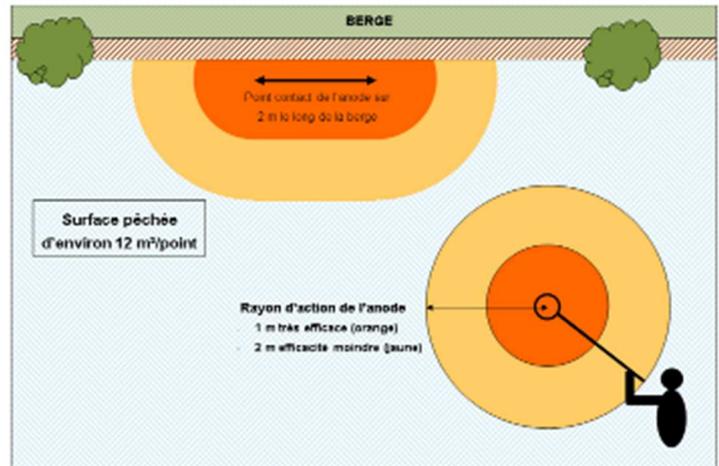


Illustration de la surface échantillonnée à chaque point contact

Avantage et limite du protocole

Cette méthode permet un échantillonnage stratifié par points à l'électricité de la zone de berge permet d'offrir un bon complément d'inventaire du peuplement piscicole en proposant une méthode de capture active et non destructrices des habitats rivulaires les plus biogènes. Ainsi, cette technique en complément des inventaires aux filets maillant permet de capturer des espèces plus inféodées aux habitats rivulaires ou présentant des mœurs ou des morphologies peu compatibles avec la méthode de capture passive aux filets maillants.

Néanmoins, cette technique présente en plan d'eau une efficacité limitée et restreinte à la zone de berge dans des profondeurs de l'ordre inférieures à 2 m seulement.

4.6. PRESTATIONS PAR DRONE (OPTION)

L'utilisation du drone permet de produire des orthophotographies de haute précision permettant de caractériser finement la structure des habitats, leur évolution et de géolocaliser directement les inventaires naturalistes réalisés en parallèle. Cette prestation permet d'affiner et/ou anticiper les prospections des habitats et de la végétation aquatique de la zone d'étude. La réalisation de cartographies via des prises de vue aériennes en temps réel permet en outre une valorisation des données novatrice et attractive.

Son utilisation conjointe avec un logiciel d'analyse photogrammétrique permet également de générer des modèles numériques de terrains (MNT). A noter que la restitution d'un modèle numérique de terrain précis est dépendant de la couverture végétale de la zone à prospector. Aussi la présence d'une végétation rivulaire dense autour du plan d'eau ne permettra pas d'obtenir des mesures d'élévation de la berge.

4.7. SYNTHÈSE DES PRESTATIONS DE SUIVI

Les préconisations de suivi des milieux aquatiques décrites précédemment sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Synthèse des préconisations de suivi des milieux aquatiques

Compartiment	Méthode	Campagne fin hiver (fév./mars)	Campagne printanière (mai/juin)	Campagne estivale (juill./août)	Campagne automnale (sept./ oct.)
Physico-chimie eau (point de plus grande profondeur)	Profil vertical (T°C, pH, Cond., O2 dissous)	optionnelle	X	X	X
	Mesure de la transparence	optionnelle	X	X	X
	Prélèvement et analyse laboratoire (zone euphotique)*	optionnelle	X	X	X
	Prélèvement et analyse laboratoire (fond)**	optionnelle	X	X	X
Physico-chimie sédiment	Prélèvement et analyse laboratoire***				X
Phytoplancton	IPLAC	optionnelle	X	X	X
Végétation aquatique	Relevé floristique et cartographique		X	X	complément
Zooplancton	Eau brute et trait de filet	optionnelle	X	X	X
Poisson (option)	Pêche filets maillants			X	ou X
	Pêche électrique des berges			X	ou X
	ADNe (2 réplicats / plans d'eau)		X	ou X	
Mollusques (option, couplée au poisson)	ADNe (2 réplicats / plans d'eau)		X	ou X	

4.8. ADAPTATION DU SUIVI EN PHASE EXPLOITATION

En phase exploitation un suivi des milieux aquatiques similaires à celui présenté précédemment peut être envisagé. Toutefois, l'objectif de ce suivi serait d'évaluer l'impact de la centrale sur les milieux aquatiques,

- d'une part en comparant les résultats à l'état initial (ex : surface de développement d'herbier, richesse du phytoplancton...) et
- d'autre part en comparant les résultats dans un secteur impacté (ex : sous la centrale flottante dans sa partie centrale) avec un point de référence non impacté.

Cette adaptation nécessite donc a minima deux points de suivi par plan d'eau (un point de référence et un point de mesure de l'impact).

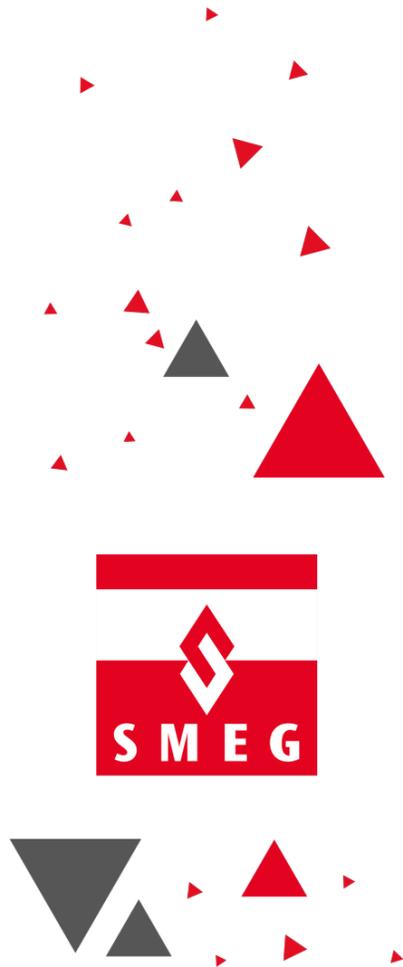
D'autre part, certains paramètres physico-chimiques comme la température et l'oxygène dissous qui suivent des cycles nycthémeraux peuvent être suivis en continu en 2 ou 3 points (surface, limite de stratification, fond) par l'intermédiaire de sondes enregistreuses afin de mieux analyser l'impact de l'aménagement sur ces paramètres.

La durée du suivi est à définir mais généralement la fréquence de suivi est la suivante : N+1, N+3, N+5.

5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alligand, G., Hubert, S., Legendre, T., Millard, F., Muller, A., 2018. Évaluation environnementale Guide d'aide à la définition des mesures ERC. CGDD, Cerema Centre-Est, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.
- Armstrong, A., Page, T., Thackeray, S.J., Hernandez, R.R., Jones, I.D., 2020. Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees. *Environ. Res. Lett.* 15, 114055. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbf7b>
- Arrêté du 9 octobre 2023 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement, 2023.
- Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement - Légifrance, 2018.
- Barbe, J., Lavergne, E., Rofes, G., 1990. Diagnose rapide des plans d'eau. *Inf. Tech. CEMAGREF* n° 79, note 2, 8 p.
- Blahó, M., Egri, Á., Barta, A., Antoni, G., Kriska, G., Horváth, G., 2012. How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Vet. Parasitol.* 189, 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.04.016>
- Chambers, P.A., Lacoul, P., Murphy, K.J., Thomaz, S.M., 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater, in: Balian, E.V., Lévêque, C., Segers, H., Martens, K. (Eds.), *Freshwater Animal Diversity Assessment, Developments in Hydrobiology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 9–26. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8259-7_2
- Chorus, I., Welker, M., 2021. *Toxic Cyanobacteria in Water*, 2nd edition, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton (FL).
- DIRECTIVE 2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL Du 23 Octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 2000.
- Duchemin, É., 2002. André Hade, Nos Lacs : Les connaître pour mieux les protéger. *Vertigo - Rev. Électronique En Sci. Environ.* <https://doi.org/10.4000/vertigo.5163>
- Essak, L., Ghosh, A., 2022. Floating Photovoltaics: A Review. *Clean Technologies* 4, 752–769. <https://doi.org/10.3390/cleantech4030046>
- Exley, G., Hernandez, R.R., Page, T., Chipps, M., Gambro, S., Hersey, M., Lake, R., Zoannou, K.-S., Armstrong, A., 2021. Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 152, 111639. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111639>
- Feldmann, T., Nöges, P., 2009. Seasonal and Vertical Changes in the Surface Area/Biomass Ratio of Potamogeton lucens L. in a Clear and a Turbid Shallow Lake. *J Aquat Plant Manage.*
- Feret, T., Laplace-Treuture, C., 2012. IPLAC : l'indice Phytoplancton Lacustre : Fiche de caractérisation de la Masse d'Eau HG214 "Albien-Néocomien Libre entre Seine et Orne", 2015. , Cycle DCE 2016-2021. BRGM - Agence de l'Eau Seine Normandie.
- Ghirardi, N., Bresciani, M., Pinardi, M., Nizzoli, D., Viaroli, P., 2023. Pit lakes from gravel and sand quarrying in the Po River basin: An opportunity for riverscape rehabilitation and ecosystem services improvement. *Ecol. Eng.* 196, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107103>
- Giardino, C., Bresciani, M., Valentini, E., Gasperini, L., Bolpagni, R., Brando, V.E., 2015. Airborne hyperspectral data to assess suspended particulate matter and aquatic vegetation in a shallow and turbid lake. *Remote Sens. Environ., Special Issue: Remote Sensing of Inland Waters* 157, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.034>
- Hennon, G.M.M., Dyhrman, S.T., 2020. Progress and promise of omics for predicting the impacts of climate change on harmful algal blooms. *Harmful Algae, Climate change and harmful algal blooms* 91, 101587. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.005>
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, A., Kriska, G., Seres, I., Robertson, B., 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conserv. Biol. J. Soc. Conserv. Biol.* 24, 1644–1653. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Lerner, A., 2014. Applying Polarization-Based Traps to Insect Control, in: Horváth, G. (Ed.), *Polarized Light and Polarization Vision in Animal Sciences*, Springer Series in Vision Research. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 561–584. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54718-8_23

- Ilgen, K., Schindler, D., Wieland, S., Lange, J., 2023. The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification. *Sci. Rep.* 13, 7932. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34751-2>
- James, C., Fisher, J., Russell, V., Collings, S., Moss, B., 2005. Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. *Freshw. Biol.* 50, 1049–1063. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2005.01375.x>
- KRILOFF, A., 2022. INSTALLATION D'UNE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTE SUR LA COMMUNE DE ROSNAY-L'HOPITAL (10) - Étude d'impact (Etude d'impact No. 2021_250). Ekos Ingénierie.
- Landsberg, J.H., Hendrickson, J., Tabuchi, M., Kiryu, Y., Williams, B.J., Tomlinson, M.C., 2020. A large-scale sustained fish kill in the St. Johns River, Florida: A complex consequence of cyanobacteria blooms. *Harmful Algae* 92, 101771. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101771>
- Lepot, B., Marescaux, N., 2017. Recommandations techniques - Opérations d'échantillonnage d'eau en plan d'eau dans le cadre des programmes de surveillance DCE. AQUAREF.
- Li, P., Gao, X., Jiang, J., Yang, L., Li, Y., 2020. Characteristic Analysis of Water Quality Variation and Fish Impact Study of Fish-Lighting Complementary Photovoltaic Power Station. *Energies* 13, 4822. <https://doi.org/10.3390/en13184822>
- Marx, G., 2022. Centrales Photovoltaïques et Biodiversité - Synthèse des connaissances sur les impacts potentiels et les moyens de les atténuer. LPO, Pôle Protection de la Nature.
- Metcalf, J.S., Morrison, L.F., Krienitz, L., Ballot, A., Krause, E., Kotut, K., Pütz, S., Wiegand, C., Pflugmacher, S., Codd, G.A., 2006. Analysis of the cyanotoxins anatoxin-a and microcystins in Lesser Flamingo feathers†. *Toxicol. Environ. Chem.* 88, 159–167. <https://doi.org/10.1080/02772240500491604>
- NF T90-333, 2016.
- Obbink, Y., 2023. Environmental and technological advantages and disadvantages of Floating Photovoltaics in the Netherlands (Master Thesis).
- Oberemm, A., Becker, J., Codd, G.A., Steinberg, C., 1999. Effects of cyanobacterial toxins and aqueous crude extracts of cyanobacteria on the development of fish and amphibians. *Environ. Toxicol.* 14, 77–88. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-7278\(199902\)14:1<77::AID-TOX11>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-7278(199902)14:1<77::AID-TOX11>3.0.CO;2-F)
- Pouran, H.M., Padilha Campos Lopes, M., Nogueira, T., Alves Castelo Branco, D., Sheng, Y., 2022. Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology. *iScience* 25, 105253. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105253>
- Projet de parc photovoltaïque flottant - Commune de Rosnay l'Hôpital - Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées (Demande de dérogation à la loi de protection aux espèces protégées No. 2), 2023. . Auddicé environnement.
- Reynolds, C.S., 2006. Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge; New York.
- SOUBELET, H., SILVAIN, J.-F., GOFFAUX, R., 2021. Prospective scientifique sur les impacts des installations de production d'énergie renouvelables sur la biodiversité et lacunes de connaissances. Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.
- Staehr, P.A., Christensen, J.P.A., Batt, R.D., Read, J.S., 2012. Ecosystem metabolism in a stratified lake. *Limnol. Oceanogr.* 57, 1317–1330. <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.5.1317>
- Stefanidis, K., Papastergiadou, E., 2010. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece. *Hydrobiologia* 656, 55–65. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0435-0>
- Visser, P.M., Verspagen, J.M.H., Sandrini, G., Stal, L.J., Matthijs, H.C.P., Davis, T.W., Paerl, H.W., Huisman, J., 2016. How rising CO2 and global warming may stimulate harmful cyanobacterial blooms. *Harmful Algae, Global Expansion of Harmful Cyanobacterial Blooms: Diversity, ecology, causes, and controls* 54, 145–159. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.12.006>
- Wang, L., Shen, H., Wu, Z., Yu, Z., Li, Y., Su, H., Zheng, W., Chen, J., Xie, P., 2020. Warming affects crustacean grazing pressure on phytoplankton by altering the vertical distribution in a stratified lake. *Sci. Total Environ.* 734, 139195. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139195>
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology - Lake and River ecosystems*, 3rd Edition. ed.
- Wetzel, R.G., Likens, G.E., 2000. *Limnological Analyses*, 3rd Edition. ed. Springer, New York.



Société Monégasque de l'Electricité et du Gaz- 10,avenue de Fontvieille, 98000 Monaco T
éléphone :+377 92 05 05 00 – smeg@smeg.mc

