

Les impacts des PV flottants

Synthèse bibliographique

Ch. Marée, 3 mars 2026, V6

#ZéroIA

1. Autosaisine du CNPN (juin 2024)	2
2. LPO Biodiversité et photovoltaïque (octobre 2022)	5
3. SOLAKE/FLOATIX : effets des centrales photovoltaïques flottantes sur la biodiversité aquatique et les écosystèmes lacustres (2020-2028)	9
4. Effets des centrales flottantes sur la biodiversité aquatique et le fonctionnement des plans d'eau de gravière (octobre 2025)	10
5. Impacts écologiques des centrales photovoltaïques flottantes sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes : Bilan des connaissances et travaux en cours (2025)	14
6. OFB : Photovoltaïque flottant (PVF) : quels impacts potentiels sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes lacustres ? (juin 2025)	14
7. CEREMA : Solaire flottant en Région Grand-Est. Synthèse des études d'impact et étude bibliographique des recommandations opérationnelles pour la biodiversité. Synthèse du rapport (mai - juin 2025)	20
8. Toten : Les enjeux environnementaux, sociaux et paysagers du photovoltaïque flottant (mars 2024)	28
9. Potential Interactions Between Birds And Floating Photovoltaic Solar Energy: Spatially Informed Species Vulnerabilities, Techno-Ecological Risks, And Sustainability Trade-Offs (décembre 2025)	32
10. Comité National de L'eau : Avis sur le projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables (octobre 2022)	35
11. Décisions des cours administratives d'appel et des tribunaux administratifs	36
12. "Addressing chemical contamination from floating photovoltaic systems: the need for comprehensive analytical monitoring" (juin 2025)	42
13. A global study of freshwater coverage by floating photovoltaics (janvier 2024)	45
14. Floating photovoltaics strongly reduce water temperature: A whole-lake experiment (février 2025)	46
15. Illuminating the Impact of a Floating Photovoltaic System on a Shallow Drinking Water Reservoir: The Emergence of Benthic Cyanobacteria (avril 2025)	47
16. An interdisciplinary literature review of floating solar power plants (mars 2025)	48

Note préliminaire :

La banque mondiale a estimé un potentiel conservateur de 400 GW pour des installations photovoltaïques flottantes dans le monde, alors même que toutes les études qui suivent précisent que les impacts pour la biodiversité sont très peu connus.

NB : sur les 155 pages de ce document, 20 seulement sont dédiées aux considérations environnementales et sociales (chapitre 6).

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/418961572293438109/pdf/Where-Sun-Meets-Water-Floating-Solar-Handbook-for-Practitioners.pdf>

“La production de connaissances scientifiques robustes et quantitatives sur les conséquences écologiques des centrales photovoltaïques flottantes sur la biodiversité et le fonctionnement de ces écosystèmes constitue donc un enjeu extrêmement fort.” BOULÉTREAU Stéphanie et al., 2025. ([Effets des centrales flottantes sur la biodiversité aquatique et le fonctionnement des plans d'eau de gravière \(octobre 2025\) Rapport final](https://www.avis-biodiversite.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2024-16_avis_deploiement-photovoltaique-impacts-biodiversite_cn timer du 19_06_2024_vf.pdf))

1. Autosaisine du CNPN (juin 2024)

https://www.avis-biodiversite.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2024-16_avis_deploiement-photovoltaique-impacts-biodiversite_cn timer du 19_06_2024_vf.pdf

Page 55

(...)

“La même rhétorique que celle liée à la notion de friche industrielle est ici mobilisée dans les dossiers que nous avons consultés : les pétitionnaires parlent de sites « dégradés », les projets portant généralement sur des étangs issus de l'exploitation de granulats par les carrières, en zone alluviale. Les projets consistent à recouvrir entre 30 et 70% d'un plan d'eau de panneaux photovoltaïques, implantés sur des flotteurs, eux-mêmes ancrés par des lignes sur les fonds. Le décret relatif au développement de l'agrivoltaïsme du 8 avril 2024 consacre ce nouvel usage et cite les « plans d'eau » parmi les espaces ouverts à l'accueil de projets photovoltaïques, sans limitation particulière.”

“Les développeurs se heurtent alors souvent à une biodiversité élevée qu'ils n'avaient pas anticipée. Ces projets ont des effets non négligeables à plusieurs niveaux, tant physico-chimiques (stratification, évaporation, modification des effets du vent, de la température et de la lumière) que biologiques (production primaire, interactions trophiques, comportements, etc.)¹, détaillés” ci-dessous (Biodiversité et photovoltaïque flottant) :

“En effet, la nature artificielle d'un étang n'amoin drit en rien son intérêt. Par exemple, les régions parmi les plus importantes pour les espèces aquatiques que sont la Dombes (Ain) ou la Brenne (Indre) sont constituées d'étangs artificiels creusés pour l'aquaculture. Dans la vallée de la Seine et de la Marne en amont de Paris, les étangs issus de carrières sont parmi les principaux espaces de biodiversité de la région, en particulier en ce qui concerne les oiseaux d'eau. Dans certains cas, les étangs sont pauvres en biodiversité : cela tient généralement au fait qu'ils ont été mal réaménagés après exploitation, ou parce qu'ils font l'objet d'autres usages, notamment de loisirs. Or, c'est généralement sur des plans d'eau ne faisant pas l'objet d'usages humains que se portent ces projets.”

(...)

¹ Nobre et Al, 2019. Potential ecological impacts of floating solar panels on biodiversity and ecosystem functioning

Le CNPN a été consulté sur deux dossiers en 2023 : sur deux étangs issus de carrière à Montaut, Ariège (57% de la surface en eau recouverte), et sur des bassins issus de carrière à Lucciana, Haute Corse. Dans les deux cas, les enjeux liés aux oiseaux d'eau étaient assez élevés, en particulier les oiseaux d'eau hivernant. A Lucciana, le pétitionnaire précise que le site retenu est « considéré comme dégradé selon les critères de la Commission de régulation de l'énergie (« Le site est une ancienne carrière, sauf lorsque la remise en état agricole ou forestier a été prescrite ») et répond au cahier des charges des appels d'offres qu'elle publie ».

D'autres dossiers ont été soumis à certains CSRPN (ex. Centre-Val-de-Loire et Martinique), mais plusieurs sont autorisés sans que les services de l'État aient considéré qu'il y avait besoin d'une dérogation « espèces protégées ». On peut citer le projet en cours de construction début 2024 sur l'étang de la carrière de Saint-Savin, Isère, qui est justifié encore une fois par son caractère « artificiel », alors qu'il s'agit d'une ZNIEFF de type 1. Il n'a été examiné ni par le CNPN, ni par le CSRPN, malgré des enjeux de biodiversité importants.

Dans les régions sondées, c'est également le cas de quatre dossiers sur la période 2022-2023 en région Centre-Val-de-Loire (tous sur des plans d'eau jugés sans enjeux par les DDT et la DREAL et sur une superficie couvrant moins de 50% des étangs) et d'un plan d'eau dans les Landes (à Duhort-Bachen, sur une superficie couvrant 50% du plan d'eau, sur lequel les enjeux liés à l'avifaune migratrice et hivernante ont été mal évalués).

(...)

“Les risques de pollution de l'eau en particulier du fait de polluants persistants (PFAS) présents sur les panneaux constituent une problématique sanitaire dont l'effet sur la biodiversité est actuellement ignoré.”

Biodiversité et photovoltaïque flottant (page 67):

“Le principal effet des centrales photovoltaïques flottantes est lié à la réduction de la lumière et de l'intensité du vent à la surface de l'eau. Cela induit de nombreux effets en cascade en matière de température de l'eau, de taux d'oxygène dissous et de cycle de développement des algues et des bactéries, et plus généralement sur les chaînes trophiques dépendantes du phytoplancton et du zooplancton. Ces effets varient fort logiquement selon la proportion d'un plan d'eau qui est recouverte. Un recouvrement important, empêchant l'accès des rayons du soleil, entraîne des perturbations thermiques élevées et une chute de la photosynthèse, et donc une perturbation de l'ensemble des réseaux trophiques aquatiques. Cela peut, au contraire, permettre de réduire certaines proliférations d'algues et conduire à des milieux plus oligotrophes⁽²⁾, favorisant des espèces plus exigeantes. S'il est certain que les modifications de lumière, de température et de chimie de l'eau engendrent des changements importants des communautés aquatiques, il est

² Haas, J., Khalighi, J., De La Fuente, A., Gerbersdorf, S. U., Nowak, W., & Chen, P. J. (2020). Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management*, 206, 112414.

compliqué de savoir si cela participe à une plus grande hétérogénéité globale en créant de nouvelles conditions sur certains plans d'eau qui favoriseraient des espèces absentes ou rares ailleurs ⁽³⁾ .

Le choix des plans d'eau est crucial. Un plan d'eau fréquenté par des oiseaux d'eau perdra son attractivité pour la majorité des espèces. Les deux projets soumis au CNPN en 2022 et 2023 étaient sur des zones fréquentées par des oiseaux d'eau. A Montaut, en Ariège, par exemple, les plans d'eau sont fréquentés par des groupes de Fuligules milouins en hiver, auxquels se mêlent parfois les Nettés rousses et les Fuligules nyroca, et la liste d'oiseaux migrateurs détectés en halte migratoire est élevée. Les chiroptères utilisent aussi ces étangs pour chasser.

La mortalité liée aux collisions peut s'avérer plus élevée sur les plans d'eau, les oiseaux ayant possiblement du mal à faire la différence de nuit entre les panneaux et l'eau. On peut en revanche s'attendre à ce que les panneaux soient très utilisés comme perchoirs, et même comme supports de nidification. Les fientes pourraient rapidement devenir problématiques.

La visibilité réduite liée à la moindre luminosité est susceptible de nuire à l'action de chasse des poissons, et les perchoirs offerts par les panneaux à leurs prédateurs pourront entraîner des conséquences sur leurs populations.

Enfin, les centrales photovoltaïques flottantes engendrent également une mise en clôture des plans d'eau et donc un accès réduit pour la faune terrestre (mais également pour les humains), et l'artificialisation d'une partie des berges pour l'installation de la plateforme technique."

2. LPO Biodiversité et photovoltaïque (octobre 2022)

https://www.lpo.fr/media/read/20060/file/2022_pv_synthese_lpo.pdf

Émissions de GES (page 26)

³ Des recherches sont en cours sur des panneaux solaires semi-transparents susceptibles d'être utilisés sur les surfaces en eau, en évitant certains des inconvénients actuels mais peut-être pas ceux concernant la macro-biodiversité : Semitransparent polymer solar cells floating on water: selected transmission windows and active control of algal growth. Luqi Yin, Yao Zhou, Tong Jiang, Yunxiang Xu, Tong Liu, Na Li, Ke Zhou, Liangmin Yu, Cui Guo, Petri Murto and Xiaofeng Xu. J. Mater. Chem. C, 2021, 9, 13132

“Dans le cas des CPV flottantes, l’ombrage et la stabilisation de la colonne d’eau pourraient également modifier les cycles du carbone et de l’azote au sein des écosystèmes lacustres et contribuer à une augmentation des émissions de GES.”

Incidences sur les composantes physiques (page 42)

“Armstrong (2020) a développé un cadre théorique permettant de hiérarchiser les effets pour l’évaluation des impacts du CPV flottant sur les masses d’eau douce, en mettant l’accent sur les interactions écologiques. Il décrit comment la présence de panneaux photovoltaïques flottants peut modifier considérablement l’interface air-eau, avec des implications ultérieures sur la météorologie de surface, les flux air-eau et les fonctions physiques, biogéochimiques et biologiques du plan d’eau récepteur.

Il a été démontré que les CPV flottantes, c’est-à-dire les cellules solaires photovoltaïques posées sur la surface des plans d’eau, réduisent l’évaporation des plans d’eau et sont considérés comme des options prometteuses, notamment lorsqu’ils sont appliqués aux réservoirs hydroélectriques en régions arides.

On connaît toutefois mal l’impact du CPV flottant sur les fonctions physiques, biogéochimiques et biologiques du plan d’eau hôte, à tel point que ces lacunes pourraient entraîner de mauvais choix sociétaux et une incohérence de politique publique, compte tenu notamment des engagements des Etats membres de l’Europe de maintien de ces masses d’eau en bon état chimique et écologique (⁴).”

Incidences sur les sols et les habitats naturels

“Selon Costa (⁵), les travaux relatifs au raccordement électrique – entre la plate-forme et le bord du réservoir ou plan d’eau – constitue l’un des risques d’incidences le plus important sur l’environnement de la CPV flottante pilote qu’il étudie.”

(...)

“Outre le transport de l’électricité entre la plate-forme et le bord du réservoir, l’installation du système d’amarrage pendant la phase de construction a différents impacts significatifs selon le type de sol au fond du réservoir (Costa, 2017). L’installation d’une CPV flottante peut également nécessiter la construction d’un embarcadère, ce qui peut occasionner d’autres impacts environnementaux.”

Incidences sur les champs électromagnétiques

⁴ Armstrong, Alona, Trevor Page, Stephen J Thackeray, Rebecca R Hernandez, et Ian D Jones. 2020. « Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees ». Environmental Research Letters 15 (11): 114055. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbf7b>.

⁵ Costa, SG. 2017. « Impactes ambientais de sistemas fotovoltaicos flutuantes ». Universidade de Lisboa.

“Les câbles électriques peuvent être posés ou enterrés au fond du réservoir, installés dans la colonne d’eau ou à la surface. Costa (2017) décrit les incidences des différentes options qui peuvent être retenues :

- *si le câble est enterré au fond du réservoir, en plus des effets électromagnétiques (éventuellement de moindre intensité), il peut y avoir des impacts négatifs sur la géologie et la géomorphologie pendant la phase de construction ;*
- *si le câble est installé dans la colonne d’eau, la création de champs électromagnétiques peut affecter le comportement des poissons et l’orientation spatiale de plusieurs autres groupes d’espèces aquatiques ;*
- *enfin, si le câble électrique est placé à la surface, il aura des incidences mineures sur le paysage et les champs électromagnétiques.”*

Cas du microclimat au niveau des panneaux photovoltaïques

“L’ombrage créé par les panneaux se traduit par une modification des conditions microclimatiques, dont une diminution de l’évaporation et de la luminosité, avec des conséquences potentielles sur la productivité primaire et secondaire au sein de l’écosystème lacustre.”

“Exley et al. (6) ont simulé les effets des panneaux solaires photovoltaïques flottants sur le régime thermique des lacs. Les modifications constatées au sein de la masse d’eau varient fortement en fonction du taux de couverture du miroir d’eau ; celles-ci pourraient altérer radicalement les processus biogéochimiques, avec des implications majeures sur certains services écosystémiques et les coûts de traitement de l’eau. Ces auteurs alertent sur la nature extrême des résultats obtenus en fonction des différents cas simulés par leur modèle, selon différentes combinaisons de vitesse du vent et de rayonnement solaire. Ces impacts pourraient être comparables, voire plus importants, que le changement climatique. Ainsi, et selon la façon dont ils sont utilisés, les panneaux photovoltaïques flottants pourraient atténuer certains effets du changement climatique sur les plans d’eau et être un outil utile pour les gestionnaires de ces milieux face aux changements de la qualité de l’eau ; ou à l’inverse, ils pourraient induire des impacts délétères sur ces écosystèmes.”

Incidences sur les composantes biogéochimiques (page 44)

Concentration en oxygène

⁶ Exley, Giles, Alona Armstrong, Trevor Page, et Ian D Jones. 2021. « Floating Photovoltaics Could Mitigate Climate Change Impacts on Water Body Temperature and Stratification ». *Solar Energy* 219 (mai): 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.076>.

La concentration d'oxygène dissous au sein de la colonne d'eau dépend de la température de l'eau, car la solubilité des gaz dans l'eau diminue avec l'augmentation de la température et vice versa.

Autres composants chimiques

La dégradation des matériaux utilisés au sein des CPV peut modifier les propriétés physiques et chimiques de l'eau ; ce processus peut être atténué par l'utilisation de matériaux difficiles à dégrader et n'ayant pas d'impact sur la qualité de l'eau.

(...)

"...Il a été conclu que la couverture de 10 à 30 % des réservoirs provoquerait une libération de métaux lourds, mais que ceux-ci seraient en grande partie éliminés par le traitement ultérieur de l'eau potable et ne remettrait pas en cause la potabilité de l'eau pour les consommateurs finaux (Mathijssen et al. ⁷)."

Incidences sur les composantes biologiques (page 44)

Cas du benthos

"L'ombrage causé par la présence de la structure affecte les communautés benthiques, qui vivent sur ou dans le substrat du lac (Costa 2017 op. cit.)."

Cas du phytoplancton

"Haas et al. (⁸) ont étudié des scénarios dans lesquels les modules solaires couvrent de plus en plus le lac, réduisant ainsi l'apport de lumière de 0 % à 100 %."

(...)

"La réponse de l'écosystème lacustre dépend fortement du taux de couverture du lac par les modules : pour des couvertures inférieures à 40 %, les modules ont peu ou pas d'effet sur la production des microalgues. Pour des couvertures modérées (40-60 %), la production des algues est stoppée en raison de la réduction de la lumière dans le réservoir, ce qui peut contribuer à lutter contre la prolifération de cyanobactéries lorsque celles-ci sont un problème rencontré dans le plan d'eau. Enfin, une couverture importante de modules solaires peut éradiquer complètement les efflorescences algales (qui peuvent avoir d'autres impacts sur la santé de l'écosystème, mais qui sont à la base du réseau trophique au sein de ces écosystèmes)."

⁷ Mathijssen, D, B Hofs, E Spierenburg-Sack, R van Asperen, B van der Wal, J Vreeburg, et H Ketelaars. 2020. « Potential Impact of Floating Solar Panels on Water Quality in Reservoirs; Pathogens and Leaching ». *Water Practice and Technology* 15 (3): 807-11. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.062>.

⁸ Haas, J, J Khalighi, A de la Fuente, S.U Gerbersdorf, W Nowak, et Po-Jung Chen. 2020. « Floating Photovoltaic Plants: Ecological Impacts versus Hydropower Operation Flexibility ». *Energy Conversion and Management* 206 (février): 112414. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>.

Cas des poissons, oiseaux et mammifères (chiroptères)

“Costa (2017 op. cit.) indique que la présence d’une CPV flottante peut provoquer un effet de barrière pour certains oiseaux, chauves-souris et poissons, de refuge pour certaines communautés sous-marines ou d’attrait pour certaines espèces d’oiseaux et de chauves-souris qui chercheraient à s’alimenter. Il est possible que certaines espèces évitent la zone en vol, entrent en collision ou recherchent la structure pour s’y installer.

Les oiseaux d’eau voient la surface de leur habitat réduite par celle des CPV flottantes. Les chiroptères et oiseaux s’abreuvant en vol à la surface de l’eau sont aussi exposés au risque de collision avec ces structures.”

Cas du biofouling (encrassement biologique)

“Costa (2017 op. cit.) indique que bien que l’effet récif et la création d’habitat puissent être considérés comme créant des conditions favorables au développement de certaines espèces marines, celles-ci peuvent également favoriser l’installation d’espèces exotiques envahissantes. Cet encrassement biologique, c’est-à-dire la formation d’une couche d’êtres vivants sur une surface artificielle en contact permanent ou fréquent avec de l’eau, peut être considéré comme gênante et nécessiter des traitements mécaniques (brossage, grattage) ou chimiques (antifouling, biocides) pour limiter ce phénomène. Ces actions peuvent avoir des incidences sur l’état écologique du plan d’eau.”

Mesures de réductions (page 53)

Câblage

“Les câbles raccordant la plateforme flottante à la berge peuvent être installés au fond du plan d’eau, maintenus dans la colonne d’eau ou placés en surface. Costa (2017) souligne l’importance d’identifier laquelle des trois positions possibles engendre l’impact le plus facile à atténuer. Si le câble est installé au fond du lac, la mesure d’atténuation à appliquer serait de l’enterrer, en utilisant des poids. Si le câble est maintenu dans la colonne d’eau, la mesure d’atténuation à appliquer serait de le blinder. Si le câble est placé en surface, il sera nécessaire de placer la CPV flottante aussi près que possible du barrage, afin de réduire la longueur du câble. Même ainsi, si la CPV flottante est importante, cette mesure devient difficile à appliquer. En outre, en raison de l’incertitude liée à l’intensité des champs électromagnétiques et à la manière dont ils pourraient affecter les poissons, cet impact doit être surveillé.”

(...)

“En complément, l’emplacement de l’onduleur doit être étudié, soit sur la structure flottante soit à terre. (...) Du point de vue environnemental, le placement de l’onduleur sur la structure flottante a un impact indirect lié à la maintenance, et donc à l’augmentation de la fréquentation

du site par l'homme, ce qui peut provoquer des nuisances pour la faune et des risques de déversements accidentels d'huile et de carburant par les bateaux.

Puisque l'entretien des panneaux ne peut être exclu, et compte tenu du fait que les espèces ont tendance à détecter et à réagir de manière plus importante aux champs électromagnétiques créés par le courant continu, Costa (2017 op. cit.) en conclut que le placement de l'onduleur dans la structure flottante est préférable."

3. SOLAKE/FLOATIX : effets des centrales photovoltaïques flottantes sur la biodiversité aquatique et les écosystèmes lacustres (2020-2028)

<https://recherche.ademe.fr/solake-photovoltaïques-flottants-plans-deau-biodiversite-aquatique-fonctionnement-des-ecosystemes>

Présentation du projet qui court sur 8 ans.

Ce projet (2020-2028) est financé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB), l'Agence de la transition écologique (ADEME) et la Commission Européenne (Bourse Marie Curie – ECLIPSE) avec les partenaires scientifiques

- LEHNA (Université Claude Bernard – CNRS, Lyon)
- GOAL VITO (Mol, Belgique)
- U3E (INRAE, Rennes)
- CARRTEL (INRAE, Thonon-les-Bains)

*"Le projet met en œuvre une approche intégrative qui repose sur des suivis de terrain et des expérimentations pour produire des connaissances robustes sur cette thématique. Sur le terrain, des lacs avec et sans centrales photovoltaïques flottantes sont équipés de capteurs enregistreurs et les différents compartiments biologiques (micro-organismes, diatomées, phytoplancton, zooplancton, poissons) sont suivis régulièrement tout comme d'importants processus écosystémiques (émission de gaz à effet de serre, production primaire). En **mésocosmes**, nous testons les conséquences de différents taux de recouvrement par les panneaux solaires sur ces différents compartiments. Les résultats du projet visent à concilier la mise en place de la transition énergétique et la prise en compte de la crise de la biodiversité."*

4. Effets des centrales flottantes sur la biodiversité aquatique et le fonctionnement des plans d'eau de gravière (octobre 2025)

<https://librairie.ademe.fr/energies/8673-impacts-ecologiques-des-centrales-photovoltaiques-flottantes.html#product-presentation>

Cette première étude fait partie du projet présenté au point 3

Synthèse 14 pages

Rapport complet : 134 pages

Auteurs

AZEMAR Frédéric (CRBE), BOULETREAU Stéphanie (CRBE), COLAS Fanny (LEHNA), CUCHEROUSSET Julien (CRBE), MILLET Paul, (CRBE), NOBRE Regina (CRBE), PARTHUISOT Nathalie (CRBE), SALANON Julien (CRBE), TUDESQUE Loïc (CRBE)

Le CRBE est un laboratoire avec quatre tutelles : le CNRS, l'Université de Toulouse, Toulouse INP et l'IRD.

Comité de pilotage

RALE Pierre (ADEME), EGLIN Thomas (ADEME), DESOUBRY Sophie (**Urbasolar**), PICART Julien (**Urbasolar**), MOULIN Marine (**Akuo Energy**), MALOUX Philibert (**Akuo Energy**), LYON Adrien (**Akuo Energy**), JARRY Léa (**Ciel & Terre**), MEURISSE Harold (**Ciel & Terre**), BRUN Céline (**CNR**), WATRIN Sarah (**CNR**), DURBE Gaël (Fédération de Pêche de la Haute-Garonne), FAVRIOU Pierre (Fédération de Pêche de la Haute-Garonne), ROY Johan (Fédération de Chasse de la Haute-Garonne), DE BILLY Véronique (OFB)

15 membres, dont 9 industriels, 3 pêcheurs/chasseurs, 2 Ademe et 1 OFB

Gravière : Une gravière est un plan d'eau d'origine artificielle créé par extraction de granulats et alimenté essentiellement par la nappe phréatique.

Reportage photo du CNRS sur le projet :

<https://images.cnrs.fr/actualite-scientifique/panneaux-solaires-flottants-sous-haute-surveillance>

L'équipe du projet a un site qui reprend des documents et des actualités :

<https://julienoucherousset.fr/index.php/research/>

Résumé succinct de la synthèse :

1. Contexte et objectifs

“...les écosystèmes lentiques, et particulièrement les petits plans d'eau, jouent un rôle majeur dans l'approvisionnement en eau, la régulation du climat, la biodiversité et les services rendus par la Nature. Leur recouvrement partiel par des centrales photovoltaïques flottantes pourrait modifier la luminosité, la température, la circulation de l'air et la qualité de l'eau, entraînant des impacts possibles sur les communautés aquatiques (micro organismes, phytoplancton, zooplancton, macroinvertébrés, poissons) et le fonctionnement écologique des plans d'eau.”

(...)

“Jusqu'à récemment, la littérature scientifique s'est concentrée surtout sur des approches de modélisation des effets abiotiques des centrales photovoltaïques flottantes (évaporation, oxygène, température, stratification) avec peu d'études empiriques.”

(...)

“Les connaissances demeuraient fragiles et insuffisantes pour évaluer les conséquences environnementales de cette technologie. Ces conséquences peuvent varier selon les caractéristiques physiques des écosystèmes (climat, profondeur, hydromorphologie) mais également de leur contexte écologique (concentration en nutriments). Or, les plans d'eau sur lesquels les centrales photovoltaïques flottantes sont installées présentent des contextes écologiques très variables. Ce projet de recherche visait donc à produire des connaissances nouvelles issues de suivis in situ et expérimentaux robustes sur les conséquences écologiques des centrales photovoltaïques flottantes, en particulier dans les petits plans d'eau de gravières, avec l'ambition de générer des connaissances utiles aux gestionnaires et aux décideurs.

Ce projet de recherche avait deux objectifs :

Objectif 1 : Tester expérimentalement les effets de différents niveaux de recouvrement par les panneaux solaires et de statut trophique.

Objectif 2 : Mesurer, en milieu naturel, les impacts écologiques de centrales installées sur plusieurs plans d'eau.”

2. Méthodologie

“Ce projet de recherche repose sur l'utilisation conjointe d'une expérimentation contrôlée et de suivis de terrain pour quantifier les effets à l'échelle de l'ensemble d'un écosystème aquatique dans des conditions réelles et contrôler les taux de recouvrement par les centrales photovoltaïques flottantes.”

2.1 Expérimentation en mésocosmes

“Trente-deux bassins circulaires (1 100 L, Figure 1) ont été recouverts ou non de panneaux solaire et enrichis ou non en phosphore et azote pour tester les effets isolés et en interaction du taux de recouvrement (0 %, 25 %, 45 %, 65 %), reflétant la diversité des projets existants dans le monde, et du statut trophique du plan d’eau simulé par deux niveaux de nutriments (faible et élevé). Chaque combinaison de traitement a été répétée quatre fois. Les mésocosmes ont été préalablement inoculés par du phytoplancton, du zooplancton, des macroinvertébrés, et des macrophytes.

Les suivis ont été effectués pendant quatre mois d’été et ont porté sur les mesures des :

- *Conditions abiotiques : température de l’eau, évaporation, nutriments, physico-chimie.*
- *Communautés biologiques : zooplancton, macroinvertébrés et producteurs primaires.*
- *Fonctionnement de l’écosystème : production primaire (pélagique, benthique, macrophytes), métabolisme global (production et respiration), émissions de gaz à effet de serre (méthane et dioxyde de carbone) et décomposition de la matière organique.”*

2.2 Suivi In situ

“Un suivi empirique a été mis en œuvre de 2021 à 2024 sur quinze plans d’eau de gravière en Haute-Garonne et en Ariège dont quatre équipés de centrales photovoltaïques flottantes. Ces plans d’eau de gravière avaient une surface moyenne de 15 hectares et une profondeur maximale comprise entre 1,5 et 10 m.

Le suivi écologique a été mis en œuvre à différentes fréquences entre 2021 et 2024 et selon une approche multi-échelle :

- *Suivi en continu : température de l’eau et concentration en oxygène dissous à l’aide de capteurs enregistreurs*
- *Suivi saisonnier : qualité de l’eau (nutriments, turbidité, physico-chimie), biomasses algales, structure et diversité des communautés (bactéries, phytoplancton, zooplancton, diatomées benthiques) et concentrations en gaz à effet de serre dans l’eau (méthane et dioxyde de carbone)*
- *Suivi annuel ou bisannuel : abondance et diversité des poissons (abondance, diversité), réseaux trophiques par l’analyse des isotopes stables, décomposition de la matière organique et dynamique des gaz à effet de serre.”*

3. Conséquences écologiques observées

Résumé très partiel

3.1 Effets du taux de recouvrement dans les mésocosmes avec et sans enrichissement en nutriments

Avec le taux de recouvrement et la richesse en nutriments

- *“La température de l’eau a diminué de manière significative...”*

- *Le taux d'évaporation a fortement diminué...*
- *Le pH a baissé...*
- *La concentration en azote total a augmenté...*
- *La concentration en carbone organique dissous a diminué...*
- *L'abondance du zooplancton a varié...*
- *Les macroinvertébrés (9 taxons) ont été sensibles à l'interaction entre le taux de recouvrement et les nutriments...*
- *La production primaire pélagique a augmenté...*
- *Pour la production benthique, le taux de recouvrement et les nutriments ont modulé les réponses selon les groupes algaux...*
- *Concernant le métabolisme, la production primaire brute et la respiration écosystémique ont fortement diminué..."*

3.2. Suivis in situ en plans d'eau de gravière

- *"Température et luminosité. Dans les centrales, la température moyenne de l'eau a été inférieure de 1,2 °C à la température de l'eau mesurée..."*
- *Dynamique de l'oxygène dissous. Il n'y a pas eu de différence significative de la dynamique d'oxygène dissous entre plans d'eau...*
- *Physico-chimie et qualité de l'eau. Aucun paramètre physico-chimique relatif à la qualité de l'eau n'a été affecté significativement...*
- *Micro-organismes, algues, et phytoplancton. Les structures des communautés bactériennes de l'eau et du sédiment n'ont pas été significativement affectées...*
- *Zooplancton, poissons et réseau trophique. Aucune modification significative des communautés zooplanctoniques, de la richesse, l'abondance et la structure des communautés de poissons ou des populations de perche franche...*
- *Matière organique et gaz à effet de serre (GES). Il n'y a pas eu d'effet des centrales sur la vitesse de décomposition de la matière organique..."*

4. Conclusions et perspectives

"Les résultats obtenus sur le terrain et expérimentalement démontrent que les centrales photovoltaïques flottantes installées dans des plans d'eau de gravière peu profonds entraînent une modification du régime thermique, avec un refroidissement marqué surtout au printemps et en été, et une diminution des variations quotidiennes de la température. La luminosité est également réduite sous les centrales même si cette diminution semble variable d'un système à l'autre et nécessiterait d'être mieux quantifiée in situ. Dans les plans d'eau de gravière et dans la période de deux années suivant l'installation des centrales, une diminution de la concentration en nutriments particuliers (azote, phosphore et carbone) et de l'abondance du bactérioplancton est observée dans les centrales. Les centrales semblent influencer les émissions

de gaz à effet de serre, par effet physique de barrière. En revanche, les effets sur la biodiversité aquatique et le réseau trophique restent limités à quelques indicateurs phytoplanctoniques ou sont non significatifs à ce stade de l'étude empirique."

5. Impacts écologiques des centrales photovoltaïques flottantes sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes : Bilan des connaissances et travaux en cours (2025)

https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/spb_lpo_2023_cucherousset.pdf

Présentation Powerpoint de l'état d'avancement des travaux **de l'étude précédente**

Auteur : Julien Cucherousset

6. OFB : Photovoltaïque flottant (PVF) : quels impacts potentiels sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes lacustres ? (juin 2025)

<https://ofb.gouv.fr/doc/photovoltaique-flottant-quels-impacts-potentiels-sur-la-biodiversite-et-le-fonctionnement-des>

Adaptation de l'étude de 2023 : Nobre R., Boulêtreau S., Colas F., Azemar F., Tudesque L., Parthuisot N., Favriou P., Cucherousset J. (2023). Potential ecological impacts of floating photovoltaics on lake biodiversity and ecosystem functioning.

<https://hal.science/hal-04264272v1/document>.

Note : texte très technique, je me suis restreint à des extraits très généraux

"... les écosystèmes d'eau douce sont parmi les écosystèmes de la planète les plus menacés et dégradés par les activités anthropiques (par exemple, la dégradation des habitats ou la pollution). Ce constat est particulièrement vrai pour les lacs, réceptacles des perturbations humaines à l'échelle des bassins versants et de l'atmosphère, avec une incidence sur les qualités de l'eau et de l'air. Le déploiement du PVF dans les lacs est susceptible d'affecter directement leur fonctionnement et les services écologiques qu'ils rendent, via des changements brutaux des conditions environnementales, mais l'évaluation de ces impacts reste à faire."

(...)

"Ce document présente une synthèse des impacts potentiels du PVF sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes lacustres, fondée sur les concepts d'écologie théorique et les

résultats de la littérature existante sur les effets de la lumière, de la température et du vent. À ce jour, les travaux de modélisation prédisent une réduction de l'arrivée de la lumière, de la vitesse du vent et de la température de l'eau avec l'augmentation de la surface de recouvrement par les panneaux. Les changements de lumière et de température de l'eau sont susceptibles d'altérer les taux métaboliques individuels (par exemple, photosynthétique) et d'affecter la production primaire et le transfert d'énergie au sein des chaînes trophiques des lacs équipés. Le PVF modifie probablement aussi le fonctionnement thermique et l'oxygénation de la colonne d'eau et fournit de nouveaux habitats, artificiels, pour les organismes. Ces modifications pourraient non seulement affecter le comportement individuel et l'histoire de vie des organismes (comme, par exemple, leur phénologie ou leur capacité de dispersion), mais aussi la composition des communautés végétales et animales, les interactions trophiques, le métabolisme et l'équilibre des gaz à effet de serre au sein des lacs."

(...)

*"Le déploiement rapide de cette technologie et ses implications écologiques et socio-économiques potentielles exigent une évaluation **empirique** urgente de ses impacts, fondée sur des designs expérimentaux robustes."*

(...)

*"Si la littérature technique qui traite du PVF (sa rentabilité économique, ses effets physiques sur l'eau, etc.) est en développement, les impacts écologiques qui y sont estimés pour prédire les changements potentiels des propriétés physiques des lacs **sont principalement issus de la modélisation**. Ces modèles prédisent une diminution de l'évaporation, de la concentration en oxygène dissous et une modification de la température et des patrons de stratification. Ces travaux suggèrent, de manière préliminaire, comment la présence de panneaux solaires sur l'eau pourrait modifier la pénétration du vent et du rayonnement solaire et donc la température de l'eau, altérer les échanges air-eau et la météorologie de surface des masses d'eau. Ils anticipent de probables conséquences sur la biodiversité et le fonctionnement de ces écosystèmes. Ces prédictions sont cependant très dépendantes du contexte, comme, par exemple, la surface de recouvrement du lac par les panneaux."*

1. Effets du PVF induits par la réduction de la lumière incidente (page 4)

"Pour maximiser la production énergétique, les panneaux PV peuvent recouvrir une large proportion de la surface de l'eau (jusqu'à 74%). La présence physique des panneaux sur le lac peut fortement limiter l'arrivée de la lumière et du rayonnement photosynthétiquement actif. La disponibilité de lumière est l'un des principaux facteurs limitants de la production primaire, à la base du flux d'énergie dans les écosystèmes. La réduction de la pénétration de la lumière affectera directement la production primaire phytoplanctonique, macrophytique et benthique, et modifiera probablement la distribution de la biomasse des communautés autotrophes et la

dynamique de la matière organique. De plus, elle risque d'influencer la diversité des consommateurs et le cycle des nutriments.”

2. Impact du PVF induit par une modification de la température de l'eau (page 5)

“Le PVF bloquera physiquement le rayonnement solaire (de courtes longueurs d'onde), réduisant le réchauffement de surface et rafraîchissant probablement l'eau de surface. Le PVF risque aussi de modifier la variabilité journalière de la température de l'eau, car le réchauffement par les panneaux au cours de la journée et la restitution de cette chaleur pendant la nuit diminuent. les variations nyctémérales de l'eau de surface. Il a été estimé qu'un fort taux de recouvrement de la surface d'un lac par le PVF (> ~50%) conduirait à une réduction significative de la température de l'eau.”

(...)

“Or, la température régule un grand nombre de caractéristiques physiques et chimiques de l'eau, déterminantes pour les processus 5 écologiques. Par exemple, la température conditionne la solubilité de l'oxygène, qui baisse lorsque la température s'élève. La température de l'eau affecte aussi la viscosité et la densité de l'eau, qui conditionnent les taux de sédimentation du phytoplancton et donc sa survie et ses conditions de suspension. Enfin, la température de l'eau modifie les patrons de stratification thermique de la masse d'eau et les conditions chimiques et biologiques de l'écosystème d'eau douce.”

(...)

“Sur le long terme, la température de l'eau joue aussi un rôle important sur les traits d'histoire de vie tels que la taille du corps, la durée de vie, le mode d'alimentation et le comportement. La température de l'eau est un facteur clé de la phénologie des organismes, puisqu'elle régule, par exemple, la reproduction des poissons et l'émergence des insectes.”

(...)

“Comme les changements de température affectent une grande variété de processus physiologiques et biologiques associés au métabolisme individuel, des variations, même faibles, pourraient entraîner en cascade des impacts visibles sur les organismes, du niveau individuel jusqu'au réseau trophique entier. La réponse des écosystèmes aux changements de température dépendra ainsi de la complexité du réseau d'interactions et des rétroactions entre processus physiques et biologiques.”

3. Effets du PVF induits par l'altération du vent à la surface (page 7)

“La présence de panneaux crée des zones abritées à la surface du lac, où la diminution du contact air-eau et l'augmentation de la rugosité de surface réduisent la vitesse du vent. Néanmoins, l'intensité de ces effets est difficile à prédire, car elle est dépendante de la combinaison de facteurs tels que le taux de recouvrement par les panneaux, la conception du système, les caractéristiques du lac et du paysage environnant (par exemple, la morphométrie

du lac ou la présence de végétation en berge. Des petites variations d'intensité du vent à la surface de l'eau peuvent avoir des conséquences significatives sur l'écologie du lac. Le vent a un rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes d'eau douce, puisqu'il affecte directement le brassage de l'eau, la dynamique thermique du lac, les flux de gaz à l'interface air-eau, la remise en suspension des sédiments et la distribution des nutriments dans la colonne d'eau. La réduction de la vitesse du vent peut, par exemple, diminuer la concentration en OD, car les échanges gazeux à l'interface sont fonction de la vitesse du vent et de la concentration en gaz."

4. Interactions entre effets thermiques, lumineux et du vent (page 8)

4.1. Effets du PVF sur les patrons de stratification et ses implications

"Les panneaux protègent l'eau du rayonnement solaire et du vent et modifient la température de l'eau, ce qui pourrait conduire à des modifications des patrons de stratification thermique du lac. Alors que la température et le vent sont des facteurs physiques du brassage vertical, leurs effets sont différents : la diminution du vent tend à supprimer la stratification et le mélange, alors que la baisse de température tend à favoriser ce dernier."

(...)

"La stratification détermine de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques au sein du lac, dont la dynamique des populations et les interactions spécifiques, et influence les échanges en oxygène, nutriments et carbone entre la surface et le fond du lac. Les modifications temporelles du début de stratification peuvent générer des décalages dans l'apparition des blooms phytoplanctoniques et conduire à des altérations à la base du réseau trophique. De plus, des stratifications plus longues sont souvent associées à des anoxies dans l'hypolimnion dues à une baisse du brassage vertical de l'oxygène de surface. À leur tour, les conditions anoxiques au fond du lac entraînent une reminéralisation des nutriments (comme le relargage du phosphore) et favorisent les émissions de méthane par méthanogenèse. Le CH₄ est un puissant gaz à effet de serre par rapport au CO₂, donc, si le PVF rallonge les périodes de stratification et d'anoxie du fond, cela pourrait avoir des conséquences néfastes contreproductives en augmentant la contribution des lacs au réchauffement global via l'augmentation des émissions de CH₄".

4.2. Effets du PVF sur l'évaporation et la dynamique saisonnière

"L'évaporation de l'eau est un paramètre physique essentiel du fonctionnement des lacs qui régule la température de surface de l'eau, la stratification, les flux de gaz à l'interface air-eau et les niveaux de l'eau. Le taux d'évaporation est très dépendant de la température. On estime que les taux d'évaporation moyens annuels dans les lacs vont augmenter de 16% d'ici 2100 en raison du changement climatique. Les températures élevées étant corrélées aux changements des cycles saisonniers du niveau d'eau, des taux d'évaporation estivaux plus précoces diminuent le niveau de l'eau des lacs plus intensément. En induisant des changements de régime hydrique, la

baisse du niveau d'eau met non seulement en péril la quantité d'eau, mais aussi la qualité de l'eau et conduit à des bascules trophiques."

(...)

"En affectant les propriétés fondamentales des lacs, comme la température, la disponibilité en lumière et le brassage de l'eau, le PVF pourrait potentiellement impacter les dynamiques spatiale et saisonnière des lacs (par exemple, la dynamique saisonnière du niveau d'eau). Elles régissent la non-concordance temporelle des interactions trophiques, ce qui pourrait impacter la structure des réseaux trophiques et les flux d'énergie et engendrer ainsi des bascules sévères de régime trophique."

4.3. Influence du PVF sur le métabolisme et les flux de gaz dans les lacs

"Le métabolisme d'un lac repose sur un équilibre entre la respiration (R) et la production primaire brute (PPB), deux processus fondamentaux du fonctionnement des écosystèmes"

(...)

La PPB et la R sont très sensibles à la luminosité et la température. Par conséquent, les PVF peuvent affecter le métabolisme et les émissions de gaz dans les lacs de multiples façons et selon différentes interactions/ combinaisons (par exemple, lumière et production primaire, température et taux respiratoires, vent et apport de nutriments). Si, par exemple, en raison de la baisse de luminosité et de température, les PVF provoquaient la mortalité du phytoplancton et des macrophytes, réduisant ainsi la production primaire et les taux métaboliques, l'écosystème pourrait se transformer en une source de CO₂. Cela pourrait entraîner une exportation."

5. Implications du PVF des gènes à l'échelle des méta-socio-écosystèmes (page 10)

"Les organismes peuvent répondre à des modifications de leur environnement selon plusieurs processus :

- *l'adaptation génétique, comme la sélection de souches adaptées à des variations de luminosité ;*
- *la plasticité phénotypique, comme l'altération des traits photosynthétiques adaptés à un environnement faiblement lumineux ;*
- *le species sorting avec la sélection d'espèces adaptées à des variations de luminosité."*

(...)

"Le PVF pourrait affecter l'arrivée de matière organique terrestre de plusieurs manières :

- *la construction des installations du PVF peut entraîner la suppression de la végétation environnante, ce qui réduirait l'apport de COP terrestre (les feuilles);*
- *les panneaux peuvent empêcher les feuilles de tomber dans l'eau;*
- *la disposition spatiale des panneaux peut aussi modifier le devenir des feuilles en suspension et leur sédimentation, en limitant leur dérive."*

(...)

“Les insectes émergents sont également un lien entre l'écosystème d'eau douce et l'écosystème terrestre adjacent. (...) Or, les insectes aquatiques représentent une ressource significative pour les consommateurs terrestres, comme les oiseaux, reptiles et araignées. La lumière et la température déclenchent l'émergence des insectes, qui est plus précoce en cas de températures plus chaudes et de photopériode plus longue. Le PVF pourrait donc altérer la phénologie d'émergence des insectes aquatiques et les échanges de nutriments entre écosystèmes, à l'origine d'un décalage trophique avec les consommateurs terrestres.

Les organismes mobiles, tels que les oiseaux, jouent un rôle moteur sur le flux de nutriments entre écosystèmes et le fonctionnement des écosystèmes à large échelle spatiale, via leurs déplacements entre zones de nourrissage et d'excrétion. Le PVF peut modifier l'utilisation de l'habitat et le comportement des oiseaux piscivores, en impactant ainsi ce flux des nutriments entre écosystèmes.”

6. Le rôle de la structure physique du PVF (page 12)

“Même si les preuves empiriques des effets écologiques des structures PVF n'existent pas, les études sur le rôle des récifs artificiels montrent que l'augmentation de l'hétérogénéité des habitats, associée à la présence de structures artificielles, est corrélée avec l'augmentation de l'abondance et de la diversité des macro-invertébrés. Les poissons sont aussi attirés par les structures artificielles, parce que la complexification de l'habitat fournit une protection, en créant des refuges à la prédation, ce qui augmente la survie des juvéniles et fournit un substrat favorable à la reproduction. Il a été effectivement montré que la partie inférieure des panneaux flottants pouvait être utilisée comme site de repos et de nidification par les oiseaux et les poissons.”

Conclusions (page 13)

“Le PVF pourrait entraîner une myriade d'impacts écologiques sur les écosystèmes aquatiques et les écosystèmes terrestres qui les environnent, et cela, à différents niveaux d'organisation biologique. Même s'il est encore difficile de prévoir l'issue de ces multiples effets, parfois opposés, certaines conséquences pourraient compromettre le maintien des nombreux services que ces écosystèmes d'eau douce rendent aux sociétés, comme l'approvisionnement en eau potable et la régulation du climat. Sur la base des études d'écologie théorique et des travaux sur les effets écologiques des paramètres physiques, très probablement impactés par les panneaux (lumière, température, vent), nous estimons que les effets écologiques seront fortement dépendants des contextes environnementaux (comme le statut trophique du lac, le type d'assemblage des communautés, le climat local) et industriels (tels que le taux de recouvrement par les panneaux, le design de la structure flottante) et donc très variables d'un écosystème à l'autre. Par conséquent, quantifier les impacts positifs ou négatifs et comprendre la réponse des

écosystèmes constituent un réel défi. Cela exige d'effectuer des suivis in situ en continu et de long terme, avant et après l'installation des panneaux, et de combiner des méthodes variées permettant de quantifier la biodiversité aquatique, la structure des réseaux trophiques et les fonctions de l'écosystème. Des études empiriques, menées in situ et en conditions contrôlées, sont essentielles pour améliorer la connaissance fondamentale de la réponse des écosystèmes aux changements environnementaux brutaux et pour s'assurer que le PVF remplit son objectif premier de technologie durable."

7. CEREMA : Solaire flottant en Région Grand-Est. Synthèse des études d'impact et étude bibliographique des recommandations opérationnelles pour la biodiversité. Synthèse du rapport (mai - juin 2025)

Synthèse :

<https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/604153/solaire-flottant-en-region-grand-est-synthese-des-etudes-d-impact-et-etude-bibliographique-des-recom?lg=fr-FR>

Rapport complet :

https://hal.science/hal-05057429v1/file/2025_Solaire-flottant_Recommandations-operationnelles_Cerema_final.pdf

Auteurs : Pierre Mazuer, François Nowicki

"Une synthèse bibliographique a été réalisée par le Cerema, à la demande de la Région Grand-Est et des opérateurs de l'Etat, comportant :

1) une analyse des études d'impact de projets d'équipements de plans d'eau sur la région (type de plans d'eau et d'installations solaires). Ce travail se base sur les études d'impact réalisées entre 2022 et 2024, transmises fin 2024 au Cerema par les Directions départementales des territoires (DDT) et la DREAL Grand-Est.

2) un état des connaissances et des propositions sur les recommandations à mettre en œuvre dans le cadre de la création d'une centrale, afin de préserver la biodiversité."

Suivi assuré par un groupe de travail regroupant le Cerema, les services Biodiversité et Énergie de la Région Grand Est, la DREAL, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et l'OFB.

Résumé de la synthèse

"Le rapport complet aborde de nombreux aspects non développés dans la présente synthèse (contexte national et international sur les énergies renouvelables, description des technologies de la filière et des substances chimiques utilisées, justification des recommandations du Cerema ...)."

1. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES ÉTUDES D'IMPACT

24 plans d'eau creusés lors de l'exploitation de gravières dans une nappe phréatique affleurante, une superficie de 3 ha à 53 ha, un taux de couverture de 24% à 65%.

“Les principales conclusions issues des études d'impact analysées par le Cerema considèrent que :

1) La préservation des habitats et des espèces présentant un enjeu fort est assurée lors de la conception des projets. L'impact, après mesures « Éviter - Réduire – Compenser », est faible ou nul ;

2) Le risque principal pour l'environnement est pendant la phase de chantier (travaux de talutage des berges, de construction de chaussée et de locaux en berge, mise en place des îlots solaires ...). Ce risque concerne autant la pollution des eaux (pollution accidentelle), que le dérangement des espèces.

3) Les impacts sont faibles à nuls sur la pollution des eaux en phase de fonctionnement. Les études d'incidence affirment que les matériaux sont inertes et ne présentent aucun risque de contamination de l'eau.”

“Ce point de vue est cependant nuancé par le Cerema, qui considère qu'il y a des éléments importants qui manquent souvent dans les études d'impact.

Ces éléments manquants sont :

- l'âge du plan d'eau et la date d'arrêt des activités économiques.

- la position des herbiers existants ou potentiels (pouvant être déterminée par la bathymétrie et la transparence de l'eau) et la position exacte des îlots solaires par rapport aux herbiers (incluant les ancrages sur le fond le cas échéant).

- l'évaluation du risque chimique. Il n'y a pas, dans les dossiers d'incidence, une liste exhaustive des produits chimiques utilisés, ni d'information de synthèse sur les quantités installées au-dessus de l'eau (qui peuvent être importantes vues les grandes superficies couvertes), ni d'information sur la toxicité de ces produits et le risque pour le milieu aquatique. C'est une lacune importante des dossiers, qui peut elle-aussi être en contradiction avec l'affirmation qu'il n'y a aucun risque, avancée dans les études d'impact.

- l'état zéro réalisé, physico-chimique et biologique, souvent insuffisant sur le milieu aquatique.

- l'insuffisance de suivi des mêmes paramètres après la mise en service.

- un manque de précision sur la caractérisation des enjeux faunistiques (chiroptères, oiseaux, odonates, mammifères) et floristique de la masse d'eau (flore aquatique, habitats aquatiques).”

2. BIBLIOGRAPHIE DES RECOMMANDATIONS OPÉRATIONNELLES

“Le niveau de connaissance actuel ne permet pas de définir précisément les impacts du solaire flottant, de manière synthétique et globale. Vu la complexité de fonctionnement d’un plan d’eau, les publications consultées n’étudient que quelques aspects des relations thermiques, physico-chimiques et/ou biologiques.

Il est donc encore plus difficile de trouver des recommandations opérationnelles sur ce qu’une étude d’impact doit contenir ou sur la manière dont doit être conçue une installation solaire pour limiter les impacts sur l’environnement.

Comme le résume bien Nobre ⁽⁹⁾ : « Bien que le photovoltaïque flottant ait été identifié comme un nouveau sujet de préoccupation pour la conservation de la biodiversité, il se répand rapidement dans le monde entier et notre compréhension de ses impacts écologiques potentiels est limitée ».

En résumé, la première conclusion de cette bibliographie est de constater qu’il y a encore beaucoup d’incertitudes sur les effets de l’installation d’une centrale solaire flottante sur un plan d’eau.

Les recommandations proposées par le Cerema dans le chapitre suivant, issues de la bibliographie consultée, apportent quelques éléments pour limiter cette lacune.”

3. RECOMMANDATIONS PROPOSÉES PAR LE CEREMA

Recommandation n°1 : choisir le plan d’eau en fonction de son degré d’artificialisation.

“L’objectif (tableau 1) est d’évaluer, en fonction de son degré d’artificialisation, si le plan d’eau est prioritaire pour être équipé d’une centrale solaire flottante. Les quatre critères à considérer sont la date de l’arrêt des activités humaines, l’état chimique et écologique du plan d’eau, ainsi que le niveau d’enjeu concernant la biodiversité (sur deux échelles géographiques).”

Tableau 1 - Grille de sélection pour l’équipement des plans d’eau par des centrales solaires flottantes en fonction de l’arrêt des activités humaines sur le plan d’eau, de sa biodiversité et de sa qualité (exemple à adapter)

⁹ <https://hal.science/hal-04264272v1/document>

Type de plan d'eau	Date d'arrêt des activités humaines (1)	Biodiversité sur le secteur (2)	Biodiversité dans le plan d'eau et sur ses abords (3)	Qualité chimique de l'eau (4) et écologique du plan d'eau (5)	Commentaire sur le risque de dysfonctionnement du plan d'eau
A-I	Ancienne	Forte sur le secteur = zones ou espèces protégées ou remarquables, couloir de migration ... Ou Moyenne = biodiversité ordinaire	Forte = zones ou espèces protégées ou remarquables	Bon état	Type le plus défavorable à l'aménagement de solaire flottant car le milieu est actuellement préservé de l'anthropisation
A-II	Ancienne	Forte sur le secteur = zones ou espèces protégées ou remarquables, couloir de migration ... Ou Moyenne = biodiversité ordinaire (6)	Moyenne = biodiversité ordinaire	Bon état	Aménagement de solaire flottant déconseillé : le milieu a des capacités pour avoir une bonne biodiversité
A-III	Ancienne	Moyenne = biodiversité ordinaire (6)	Moyenne = biodiversité ordinaire	Qualité moyenne ou médiocre	Aménagement de solaire flottant à voir au cas par cas
A-IV	Récente	Faible : biodiversité nettement dégradée avant l'installation solaire (6)	Faible : biodiversité nettement dégradée avant l'installation solaire	Mauvaise qualité	Situation la plus favorable au solaire flottant car l'écosystème est déjà dégradé

“Légende du tableau 1 : (1) : **par exemple, 3 ans**. (2) : rayon d'étude à prendre en compte à déterminer au cas par cas, par exemple 5 ou 10 km. (3) le rayon est ici restreint : prendre le plan d'eau et les zones naturelles en contact avec le plan d'eau (ripisylve, zones humides). (4) la qualité de l'eau du plan d'eau ou de sa nappe alluviale. (5) par exemple sur la base des critères de la Directive cadre sur l'eau. (6) La présence d'un plan d'eau situé dans un réservoir de biodiversité et une zone de fonctionnalités écologiques, identifiés par la cartographie Trame verte et bleue, est à prendre en considération pour choisir de ne pas équiper un plan d'eau par une centrale solaire.

Ce tableau liste des critères avec des niveaux défavorables à favorables à l'installation du solaire flottant, allant de I à IV. Toutes les combinaisons sont possibles pour un plan d'eau donné : par exemple le niveau A-IV (colonne 2) est favorable en raison de la fin récente d'activités humaines et le niveau A-I (colonne 4) est défavorable en raison d'une bonne biodiversité dans le plan d'eau (par exemple avec des espèces remarquables). Ce tableau est une aide à la décision, en fonction du nombre de facteurs favorables – défavorables.

Ces quatre niveaux d'évaluation A-1 à A-IV doivent être affinés à l'usage.”

Recommandation n°2 : éviter la couverture des macrophytes enracinées par les structures flottantes.

“Les herbiers aquatiques de macrophytes sont en général dans les zones peu profondes, recevant suffisamment de lumière. Les herbiers sont limités la zone littorale lorsque le plan d’eau a une zone pélagique (profonde), mais ils peuvent être aussi sur l’ensemble du plan d’eau, partie centrale comprise, si la profondeur est faible.

Comme cela est largement connu des hydrobiologistes et redémontré dans l’étude récente du Cerema sur 7 plans d’eau (Cerema, Agence de l’eau Rhin-Meuse, 2024), « la richesse [faunistique dans un plan d’eau] est apportée principalement par les substrats « vivants » (hélrophytes, chevelus racinaires ...). Inversement, les substrats « morts » (vase, limons ...), constituant en général la partie centrale les plans d’eau, et la majeure partie du recouvrement du fond, ont une richesse extrêmement faible ».

En conséquence, pour maintenir la biodiversité, notamment dans une zone protégée ou remarquable, il est fortement conseillé de ne pas couvrir les herbiers par des îlots solaires.

La couverture peut entraîner la mortalité des herbiers existants et conduire à nombreux effets secondaires, comme le colmatage du fond par des vases, une désoxygénation de l’eau, une baisse aggravée de la biodiversité ...

Pour éviter le recouvrement des herbiers, il est recommandé que les études d’impact déterminent précisément la limite la plus profonde des macrophytes présents ou potentiels. Il est important de disposer de la carte bathymétrique (topographie des fonds) et la transparence des plans d’eau à équiper.”

Recommandation n°3 : limiter à 40 % le recouvrement de la zone pélagique par les îlots solaires

“La zone pélagique est la zone profonde centrale d’un plan d’eau, sans herbier aquatique.

La couverture d’un plan d’eau a des impacts sur de nombreux paramètres : baisse de la lumière, modification des stratifications thermiques, de l’oxygène dissous, de la croissance des algues, modification des cycles de l’azote et du phosphore, des interactions compétitives entre phytoplancton et macrophytes, entre organismes pélagiques et benthiques entraînant une réduction des niveaux trophiques supérieurs, tels que les invertébrés benthiques et les poissons. L’ensemble du fonctionnement de l’écosystème peut donc être modifié (Nobre R., 2022).

Pour limiter l’impact sur le phytoplancton de la couverture de la zone pélagique des plans d’eau par des îlots solaires, il est fortement recommandé de limiter cette couverture à 40 % de la surface au miroir. Ce chiffre se base sur les données disponibles (Haas, 2020, Yang, 2022, Exley, 2022). Ce taux de couverture s’applique pour des îlots solaires denses.

Note : une couverture maximum de 30 % peut aussi être prise par précaution, les publications scientifiques n’étant pas encore nombreuses sur la limite à recommander.

Cette précaution pourrait être appliquée pour des plans d'eau présentant une qualité écologique plus importante que la moyenne.

Une plus grande couverture par les îlots solaires serait envisageable si les îlots ou les lignes de panneaux sont suffisamment espacés, réduisant l'ombrage.

Les recommandations 2 et 3 peuvent être synthétisées dans le tableau 2 ci-dessous. Le premier critère à prendre en compte est la profondeur, qui doit être supérieure à celle permettant l'installation d'herbiers au centre du plan d'eau, le deuxième critère est la préservation des herbiers de la zone littorale (incluant la zone littorale des îlots terrestres) et le dernier critère est le taux de couverture au droit de la zone pélagique (zone profonde).”

Tableau 2 – Grille de sélection pour l'équipement des plans d'eau par des centrales solaires flottantes en fonction des herbiers aquatiques et du taux de couverture par les structures flottantes :

Type de plan d'eau	Profondeur moyenne du plan d'eau	Distance des îlots solaires aux herbiers	Taux de couverture de la zone profonde par les îlots solaires	Commentaire sur le risque de dysfonctionnement du plan d'eau
B-I	Faible (1) = herbiers enracinés presque partout	Toute situation		Aménagement de solaire flottant à éviter. Type le plus défavorable et à risque de dysfonctionnement, car le milieu est favorable à la biodiversité
B-II	Forte (1) = herbiers enracinés limités à la zone littorale	Insuffisante = les herbiers de la zone littorale sont couverts	Toute situation	Situation défavorable au solaire flottant. Cas d'une distance <u>insuffisante</u> des îlots solaires à la berge : dégradation de la biodiversité de la berge et de la partie centrale
B-III		Suffisante = les herbiers de la zone littorale <u>ne sont pas couverts</u>	Variable selon la superficie au plan d'eau mais restant trop importante (en général > 40 %).	Situation peu favorable. Cas d'une distance suffisante des îlots solaires à la berge mais avec une <u>couverture trop forte de la zone profonde</u> : dégradation de la biodiversité de la partie centrale
B-IV			<u>Ne dépassant pas 40 % (2)</u>	Situation la plus favorable au solaire flottant. Cas d'une distance suffisante des îlots solaires à la berge et d'une couverture de la zone profonde modérée : préservation du fonctionnement du plan d'eau et de la biodiversité. Situation la plus favorable à la préservation d'un écosystème aquatique

“Légende du tableau 2 : (1) la profondeur limite est déterminable en fonction de la présence constatée d'herbiers enracinés, ou en fonction de la transparence de l'eau et la bathymétrie si les herbiers n'ont pas encore colonisé le plan d'eau (gravière). Cette transparence est variable pour chaque plan d'eau. Une

valeur guide de 6 m peut être estimée. La distance à la berge inclue la distance aux îles terrestres parfois présentes au sein du plan d'eau. Ce tableau est conçu à l'aide des connaissances disponibles à ce jour. (2)
Cette valeur de 40 % devra être adaptée en fonction de l'évolution des connaissances sur l'impact du solaire flottant"

Recommandation n°4 : définir dans l'étude d'impact la nature exacte des substances présentes dans les installations flottantes et évaluer le risque de pollution toxique du milieu aquatique.

"Les technologies évoluent rapidement. Les structures flottantes peuvent contenir des substances chimiques variées.

Ces substances peuvent passer dans l'eau du plan d'eau puis dans leurs sédiments, soit par l'usure des matériaux, soit au cours d'un accident ou évènements climatiques importants :

- incendie (voir figure 1). Diverses origines d'incendies de panneaux solaires ont été répertoriées par l'INERIS sur les panneaux photovoltaïques.*
- arrachage puis immersion à forte profondeur suite à une inondation,*
- tempête, grêle, gel, glace etc. pouvant dégrader ou arracher des parties des structures.*

Il est recommandé pour chaque installation solaire flottante de :

- 1) Lister de manière exhaustive les produits chimiques pouvant rejoindre par pollution chronique (usure ...) ou accidentelle (incendie ...) les eaux du plan d'eau,*
- 2) Estimer les quantités apportées sur le site,*
- 3) Fournir les connaissances disponibles sur la toxicité de chaque substance. Prendre une marge de sécurité pour prendre en compte l'effet synergique possible de plusieurs substances.*
- 4) Estimer à partir de quelle quantité de chaque substance chimique, la qualité de l'eau du plan d'eau est dégradée.*
- 5) En déduire la taille maximale des îlots solaires à installer."*

Figure 1 – Exemple d'un incendie sur des îlots solaires (d'après le diaporama de De Billy (V.), 2024) :



"Retenons que les installations flottantes, installées au-dessus d'un plan d'eau, parfois reliées à une nappe alluviale, présentent un risque particulier. Si une pollution survient, celle-ci se

retrouve directement dans l'eau, elle se diffuse rapidement, et ne peut plus être facilement confinée et retirée du milieu, contrairement à la pollution d'un milieu terrestre. Il devient alors extrêmement difficile et prohibitif de traiter cette pollution.

Comme pour tout projet nécessitant une installation de matériel, il est donc nécessaire d'appliquer un principe de précaution et d'évaluer ces risques pour les projets. Les substances chimiques ne doivent pas remettre en cause la santé humaine et la biodiversité sur le long terme (durée de vie de la centrale solaire)."

Autres recommandations

"D'autres recommandations figurent dans le rapport complet du Cerema.

Les parcs photovoltaïques sont également susceptibles de perturber les habitats et les espèces non aquatiques. Les effets de ces parcs sur le compartiment aérien doivent être évalués et si nécessaire conduire à éviter, réduire ou compenser les impacts de ces projets sur les habitats et sur les espèces. Cette évaluation doit, le plus tôt possible, pouvoir s'appuyer sur des retours d'expérience ou études scientifiques sans quoi l'évaluation des impacts pourrait sous-estimer les effets de ces aménagements sur la faune."

4. CONCLUSION

"A la demande de la Région Grand-Est, le Cerema a fait une synthèse des études d'impact récentes (2022 à 2024) pour l'installation de centrales solaires flottantes sur 24 plans d'eau.

Les principales conclusions du rapport complet, édité en mai 2025, sont reprises dans la présente synthèse.

Les principales caractéristiques de ces 24 plans d'eau et des centrales solaires flottantes sont présentées.

Concernant les recommandations opérationnelles à mettre en œuvre dans le cadre de la création d'une centrale, dans l'objectif de préserver la biodiversité, il ressort actuellement peu de choses de la bibliographie nationale et internationale.

Vu l'état actuel de la connaissance scientifique, le Cerema propose des recommandations pour l'installation de centrales solaires flottantes, sur quatre points principaux :

- 1) Choisir le plan d'eau en fonction de son degré d'artificialisation. Il sera choisi en priorité un plan d'eau dont l'activité anthropique (par exemple l'extraction de granulats ...) s'est arrêtée récemment ou alors sur un plan d'eau fortement dégradé au niveau de sa qualité (eau, morphologie, biodiversité, etc.).
- 2) Eviter la couverture des macrophytes (herbiers aquatiques) enracinées, présents ou potentiels (en fonction de la profondeur).
- 3) Limiter à 40 % le recouvrement de la zone profonde (pélagique) du plan d'eau par les îlots solaires. La limite de 30 % de recouvrement peut aussi être prise par précaution, au moins pour les milieux présentant une qualité écologique supérieure à la moyenne.

4) Définir dans l'étude d'impact la nature exacte des substances chimiques présentes dans les installations flottantes, ainsi que les quantités installées, et évaluer le risque de pollution toxique du milieu aquatique.

Au-delà de l'analyse chiffrée, les centrales solaires flottantes produisent toujours une anthropisation du milieu, avec l'installation de routes, de réseaux et de postes électriques, de panneaux solaires, etc., réduisant les habitats pour la flore et la faune, pouvant provoquer une pollution chronique progressive (plastiques, métaux, etc.) ou affecter la biodiversité. Il apparaît au premier abord qu'une installation dans un site sensible (milieu riche écologiquement, nappe phréatique en bon état, etc.) est à éviter autant que possible, par rapport à des milieux déjà anthropisés.

Le choix des plans d'eau à équiper d'une centrale solaire flottante doit donc intégrer le niveau de protection souhaité d'un milieu."

8. Toten : Les enjeux environnementaux, sociaux et paysagers du photovoltaïque flottant (mars 2024)

<https://toten-occitanie.fr/production-locale-d-energie/pv-flottant-les-enjeux-environnementaux>

Toten = Territoires d'Occitanie pour la transition énergétique (Région Occitanie + Ademe)

Cet article fait partie d'un dossier plus complet :

<https://toten-occitanie.fr/22-03-2024-webmag-8-le-photovoltaïque-flottant/>

Un document grand public a été édité :

<https://www.laregion.fr/Guide-referentiel-pour-un-projet-photovoltaïque-flottant-concerte-et-reussi>

Cette étude a été réalisée à partir d'une étude bibliographique, notamment le rapport de la Région Grand Est – voir ci-dessus, et grâce aussi à des entretiens avec les acteurs suivants : DREAL, DDT11, DDT32, ADEME, LPO, OFB, Groupe BRL, Cemater, Enerplan, Syndicats et groupements de producteurs, UrbaSolar, Akuo Energy, Ciel & Terre,...

Les enjeux environnementaux pour le développement d'un projet photovoltaïque flottant

“Des impacts sur l'environnement sont à considérer en amont du projet, avec notamment une réflexion poussée sur la surface utilisée d'un plan d'eau lors de la réalisation d'un projet photovoltaïque flottant. La taille du projet est un paramètre qui pourrait avoir un impact sur l'écosystème du plan d'eau, en entraînant une baisse de luminosité pour la faune et la flore existante, une baisse des températures, ou encore une diminution du taux d'oxygénation. La faune aquatique se retrouverait ainsi impactée, ce qui pourrait créer un déséquilibre sur toute la chaîne alimentaire.

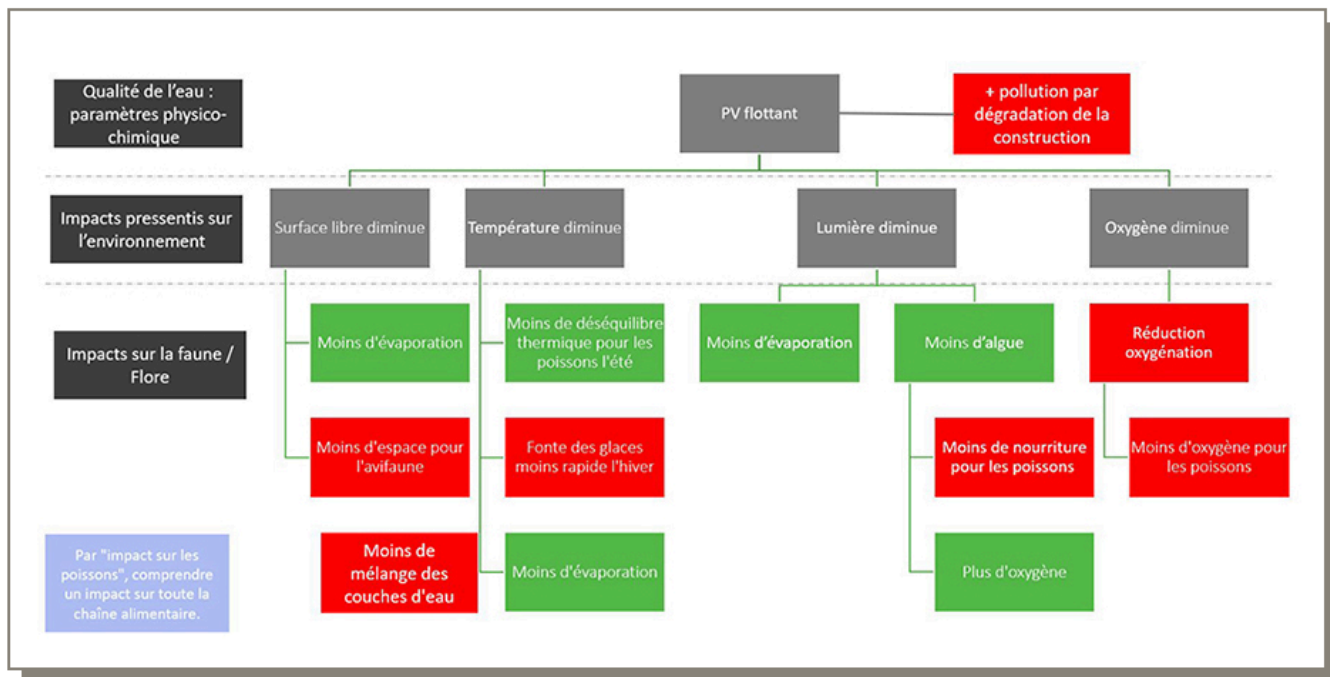
La nouveauté de cette installation technologique requiert d’y associer des études poussées sur les impacts sur la biodiversité à long terme. Sont notamment à surveiller les effets sur la biodiversité aquatique (nourriture et oxygène des poissons...), ou des incidences sur les zones de repos des oiseaux migrateurs et des zones migratoires.

Le porteur de projet devra également porter une attention particulière sur la dégradation des PEHD en microparticules, la surface totale utilisée, garder une luminosité globale minimale ou encore la surveillance des propriétés physico-chimiques du lac.

Lors de la mise en œuvre d’un projet photovoltaïque flottant, de multiples répercussions sur la biodiversité doivent être intégrées à l’analyse. Ces effets peuvent entraîner un bouleversement de l’écosystème et de possibles impacts sur la pollution de l’eau et du climat. Autant d’aspects qui ont été étudiés et intégrés à un tableau d’analyse nuanciant les impacts sur ces deux sujets :”

BIODIVERSITE					POLLUTION		
Faune aquatique	Avifaune	Faune terrestre	Flore aquatique	Flore terrestre	Eaux de surface	Eaux souterraines	Impact sur le climat
Changement de cycle de vie du plan d'eau et de l'oxygénation, ombrages...	Désorientation, espace de repos réduit en hiver (gel)	Destruction d'habitat pour zone de mise à l'eau.	Ombrages, changement du cycle de vie du plan d'eau	Déboisement sur zone de mise à l'eau.	Pollution en phase de construction et par dégradation en phase d'exploitation. Possible anoxie du plan d'eau.	Impact très faible voire neutre.	Energies renouvelables.

“Au regard des entretiens effectués et des recherches bibliographiques, il semble que la modification des propriétés physico-chimiques du plan d’eau ait des effets pressentis positifs et négatifs sur la biodiversité. Les différents environnementaux recensés sont détaillés ci-dessous :”



Impacts d'un projet photovoltaïque flottant sur la biodiversité

“Parmi les éléments positifs sur l’environnement les panneaux photovoltaïques flottants sur plan d’eau pourraient permettre de créer un point d’ombrage et de limiter l’évaporation de l’eau. Ou encore, de créer un effet récif, en créant un habitat, une zone de prolifération pour des populations particulières, de contenir la prolifération algale et de réduire la hausse de la température de l’eau.

Il est important de noter qu’il existe de nombreuses typologies de plans d’eau, donc autant de systèmes écologiques et d’impacts différents. C’est par exemple le cas des anciennes carrières pas exploitées depuis des années, où souvent la biodiversité a repris ses droits.”

(...)

“La mise en place de mesures ERC pour la mise en œuvre d’un projet photovoltaïque flottant, doit se faire sur la base d’études scientifiques exhaustives en intégrant les impacts d’un projet sur l’environnement. Ci-dessous plusieurs exemples d’action de la séquence éviter et réduire sur un projet photovoltaïque flottant :”

	Mesures permettant la mise en place d'une stratégie ERC :	Premières idées de mesures ERC
Éviter	<ul style="list-style-type: none"> • Approche planificatrice au stade de l'ingénierie et planification grâce à des cartographies précises de la biodiversité • Attendre des retours d'expérience permettant de se positionner 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de développement en milieu naturel et à enjeux naturalistes (Natura 2000, Ramsar...) • Privilégier les anciennes carrières
Réduire	<ul style="list-style-type: none"> • Avoir des méthodes scientifiques d'évaluation d'impact rendues publiques. • Des guides et des protocoles nationaux ou régionaux. • Identifier l'existant, les lacunes et répondre aux problèmes avant le développement • Réduire le pourcentage d'occupation 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire le % d'occupation • Créer des zones d'habitats • Prévoir une transparence globale de la structure

“Les enjeux de préservation de l’environnement et de limitation des impacts sur la biodiversité nécessitent d’obtenir des retours d’expériences de projet. Il sera notamment intéressant de capitaliser les informations sur les points suivants :

- *Quel taux de couverture des lacs à favoriser lors de la mise en œuvre d’un projet photovoltaïque flottant ?*
- *Quelle quantité de lumière doit-on laisser passer ? Existe-t-il un bénéfice à utiliser des panneaux bifaciaux ?*
- *Si création d’une zone spécifique (ex : zone d’ombrage, zone où certaines espèces pourraient venir s’abriter), est-ce que l’effet récif pourrait être bénéfique pour la biodiversité ?*
- *Quelle évolution de la technologie des flotteurs pour créer un habitat favorable à la prolifération des espèces ?”*

Le photovoltaïque flottant présente aussi des impacts paysagers

“Pour atténuer l’impact sur le paysage, plusieurs pistes de réflexions peuvent être saisies. Elles se focalisent particulièrement sur l’intégration du projet dans le paysage, en jouant sur les couleurs, les formes et la végétation. De plus, certaines actions pourraient permettre d’atténuer l’impact sur le paysage. Le porteur de projet pourrait par exemple proposer des installations dont les formes s’adapteraient au contexte paysager du site et du plan d’eau, ce qui atténuerait le caractère industriel de l’équipement. Ci-dessous d’autres propositions d’actions :

- *Intégrer le parc dans son environnement (îlots parallèles à la berge) ;*
- *Réaliser un ancrage par le fond du plan d'eau (réduction de l'impact paysager) ;*
- *Ilot unique pour favoriser l'effet d'une nappe homogène bleutée ;*
- *Travailler sur l'intégration paysagère des structures flottantes et des locaux techniques installés sur les berges ;*
- *Installer des flotteurs bleus en périphérie ;*
- *Travailler sur une reconquête végétale des berges."*

Quelques recommandations permettant de réduire les risques de conflits d'usages

- *"choisir un plan d'eau artificialisé, les plans d'eau naturels n'ont pas vocation à accueillir de projets photovoltaïques ;*
- *prévoir une étude de comptabilité avec d'autres usages (eau potable, navigation, zone de pêche, zone de loisirs, stockage avec lâchage d'eau de barrage hydroélectrique, zone de remplissage des hélicoptères et écopage des canadairs)."*

9. Potential Interactions Between Birds And Floating Photovoltaic Solar Energy: Spatially Informed Species Vulnerabilities, Techno-Ecological Risks, And Sustainability Trade-Offs (décembre 2025)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5c09819>

Extrait

*"Les panneaux photovoltaïques flottants (PVF) peuvent atténuer les impacts négatifs du développement de l'énergie solaire en milieu terrestre, mais leurs effets sur les écosystèmes d'eau douce restent mal connus. Nous avons examiné les interactions potentielles des PVF avec la biodiversité aviaire, en utilisant le potentiel technique modélisé des PVF **dans le nord-est des États-Unis**. Nous avons élaboré un indice de vulnérabilité basé sur : (i) les caractéristiques morphologiques des espèces d'oiseaux, (ii) leur niveau de préoccupation en matière de conservation et (iii) leurs exigences en matière d'habitat. À partir des données de sciences participatives d'eBird, nous avons évalué le risque que représentent les PVF pour 291 espèces d'oiseaux fréquentant des plans d'eau adaptés à leur installation, en fonction de leur indice de vulnérabilité et de l'abondance relative estimée pour chaque site. Le risque le plus élevé pour les*

oiseaux est associé aux plans d'eau proches de la côte atlantique et des Grands Lacs, et la plupart (80 %) de ces plans d'eau à haut risque sont de petite taille. Comme le risque pour les oiseaux dans les plans d'eau adaptés aux PVF n'est pas corrélé à la production d'énergie estimée, la réduction de ce risque pourrait ne pas nécessiter de compromis énergétiques. De plus, éviter l'installation de PVF de surface dans les plans d'eau présentant un risque élevé pour les oiseaux est susceptible d'apporter des avantages sociaux et récréatifs tout en minimisant le risque de biofouling. Notre analyse fournit un cadre pour évaluer proactivement les risques, réduire les impacts négatifs potentiels des PVF sur les oiseaux et identifier les cobénéfices d'une implantation durable de ces PVF dans les différents paysages aquatiques.”

Discussion et conclusion

“L'énergie solaire photovoltaïque flottante est sur le point de se développer dans tout le nord-est des États-Unis. Notre analyse fournit une évaluation préliminaire du potentiel des PVF à impacter négativement les oiseaux présentant certaines caractéristiques morphologiques et certains cycles de vie, notamment près de la côte atlantique et des Grands Lacs. Globalement, nous avons constaté une faible corrélation entre la production d'électricité estimée et le risque pour la biodiversité aviaire des plans d'eau de la région, ce qui suggère de nombreuses possibilités d'équilibrer ces deux priorités, en particulier lors des premières phases de mise en œuvre. Cependant, nous avons également identifié des zones de conflit potentiel, où la production d'électricité estimée des PVF était élevée, mais où le risque pour la biodiversité aviaire l'était également. Les plans d'eau particulièrement importants pour les oiseaux sont également susceptibles de présenter des risques élevés de biofouling, ce qui incite davantage l'industrie de la PVF à éviter ces sites. Les plans d'eau identifiés comme présentant un risque élevé pour les oiseaux étaient associés à une forte valeur sociale, mais nous n'avons trouvé aucun lien entre ce risque élevé et la résilience et la représentation des habitats d'eau douce, qui pourraient être davantage liées aux espèces inféodées à l'eau.

Notre étude suggère que les PVF peuvent représenter un risque important pour certaines espèces d'oiseaux, notamment celles dont l'acuité visuelle et la capacité de vol sont limitées, qui sont étroitement liées aux milieux aquatiques et déjà considérées comme menacées. Les espèces les plus vulnérables sont les oiseaux d'eau, les limicoles et les goélands. Bien que certaines espèces d'oiseaux d'eau aient connu un rétablissement important au cours des dernières décennies grâce à une gestion et à des interventions intensives, les limicoles et les oiseaux d'eau ont vu leur abondance globale diminuer de 20 à 40 % durant la même période. Les indicateurs utilisés dans cette analyse pour estimer la vulnérabilité de certaines espèces au PVF les prédisposent également à d'autres perturbations anthropiques, telles que les collisions avec des bâtiments ou des lignes de transmission, et une dégradation importante des zones humides. Nos

résultats suggèrent donc que les PVF pourraient avoir un effet négatif cumulatif sur la persistance de ces oiseaux.

(...)

Environ 80 % des plans d'eau à haut risque recensés étaient des réservoirs ou de petits étangs, ce qui souligne que l'utilisation de l'habitat par les oiseaux dans cette région ne se limite pas aux grands plans d'eau ou aux plans d'eau écologiquement préservés. De plus, la plupart des systèmes de surveillance des oiseaux migrateurs actuellement installés sur des lacs et des étangs de petite taille ont tendance à offrir une couverture plus importante que sur les grands plans d'eau. Les petits plans d'eau, notamment les petits réservoirs et les étangs, peuvent constituer un habitat de halte migratoire important pour les espèces migratrices et accroître la connectivité entre les plans d'eau de la région. De plus, bon nombre de ces petits plans d'eau étaient situés dans des « points chauds » connus pour l'observation des oiseaux, qui non seulement offrent un habitat essentiel aux oiseaux, mais aussi des avantages économiques substantiels grâce à l'écotourisme. Les perturbations de ces plans d'eau peuvent donc avoir de graves répercussions socio-économiques, en plus des répercussions environnementales.

(...)

La saisonnalité peut également jouer un rôle important dans la manière dont les oiseaux influencent les PVF et sont influencés par ceux-ci. Les variations des trajectoires de migration, de la vitesse et de la durée des haltes migratoires entre le printemps et l'automne peuvent exposer certaines espèces à un risque accru à certaines périodes de l'année. Les espèces peuvent être plus vulnérables durant les périodes sensibles de leur cycle de vie (par exemple, la migration, la reproduction). Les impacts directs du virus de la variole aviaire sur les écosystèmes aquatiques peuvent également varier selon les saisons. Les effets variables sur la température de l'eau et la luminosité peuvent impacter les communautés d'invertébrés et de plantes et, à terme, affecter les ressources alimentaires essentielles à de nombreux oiseaux d'eau. Nos résultats suggèrent que les interactions saisonnières dynamiques potentielles entre les oiseaux et le PVF devraient être prises en compte dans les futurs efforts de surveillance et de recherche.

(...)

Le risque d'effets néfastes sur la biodiversité ne doit pas dissuader le développement des énergies renouvelables, mais plutôt orienter leur implantation vers des sites minimisant les risques potentiels sur la base des meilleures connaissances actuellement disponibles. Nous présentons ici une analyse du risque relatif que représente le PVF pour la biodiversité aviaire dans les plans d'eau appropriés de la région, qui peut être utilisée par les développeurs énergétiques, les organismes de réglementation environnementale ou les agences d'autorisation

*souhaitant prendre des décisions éclairées en matière d'implantation (Annexe C). Nous avons également calculé les valeurs de l'indice de vulnérabilité pour près de 300 espèces d'oiseaux de l'hémisphère occidental (Annexe A) dont l'aire de répartition s'étend au-delà de notre zone d'étude et fournit une méthode de calcul des risques pour les espèces aviaires non couvertes par notre analyse. Ainsi, l'utilité de notre cadre dépasse les limites de notre zone d'étude. Ceci pourrait s'avérer particulièrement important à mesure que le développement des PVF s'étend des milieux d'eau douce aux milieux marins côtiers ou estuariens. Ces plans d'eau constituent un habitat essentiel pour de nombreuses espèces parmi les plus vulnérables selon notre analyse (par exemple, la macreuse noire (*Mucus americana*) et le bécasseau maubèche (*Barbus canutus*)). Nos résultats suggèrent que le déploiement de la technologie PVF pourrait débiter sur les plans d'eau identifiés comme présentant un faible risque potentiel pour la biodiversité aviaire, la résilience des eaux douces et les usages sociaux et récréatifs. Il conviendrait également de prendre en compte d'autres objectifs et priorités non abordés ici, susceptibles d'influencer les décisions d'implantation. Nos conclusions ont révélé des scénarios qui concilient les impératifs climatiques et les besoins en matière de biodiversité dans le nord-est des États-Unis et jettent les bases d'une approche proactive et de précaution pour orienter le développement à grande échelle et durable des infrastructures d'énergies renouvelables à l'échelle mondiale.”*

10. Comité National de L'eau : Avis sur le projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables (octobre 2022)

https://coordo-nationale-photorevoltee.org/wp-content/uploads/2026/02/deliberation_no2022-02_projet_loi_aer.pdf

“Le comité national de l'eau

NOTE :

- (...)
- *les projets de parcs solaires flottants (« flottovoltaïque ») en dehors d'un encadrement spécifique, sur tout type de plans d'eau, pourraient se multiplier alors que des impacts, bien que non entièrement connus, sont déjà repérés ;*
- (...)

SOULIGNE QUE :

- (...)

- *la simplification du développement sur les énergies, renouvelables ou non, doit toujours être compatible avec l'atteinte des objectifs des directives européennes, en particulier la Directive Cadre sur l'Eau, en matière notamment de bon état écologique ;*
- *certains plans d'eau présentent une grande valeur écosystémique en tant que zones d'habitat privilégiées pour des espèces d'oiseaux protégées ;*
- (...)

S'INQUIETE :

- (...)
- *de l'absence de prise en compte de la valeur écosystémique des plans d'eau avant installation de projets « flottovoltaïque » ;*
- (...)

RECOMMANDE :

- (...)
- *la détermination de critères techniques permettant d'encadrer les projets « flottovoltaïques », à partir d'expérimentations et d'études françaises et européennes, notamment en matière de suivis des impacts potentiels, considérant la sensibilité environnementale différenciée des étendues d'eau concernées ;*
- (...)”

11. Décisions des cours administratives d’appel et des tribunaux administratifs

<https://opendata.justice-administrative.fr/recherche>

COUR ADMINISTRATIVE D'APPEL DE LYON 18/12/2025

N° 25LY00560

“La société Engie PV Les Lilas a demandé au tribunal administratif de Grenoble d'annuler l'arrêté du 16 février 2024 par lequel le préfet de la Drôme a refusé de lui délivrer un permis de construire en vue de l'édification d'une centrale photovoltaïque flottante sur le territoire de la commune de Châteauneuf-sur-Isère.”

DECIDE :

“Article 2 : La demande présentée par la société Engie PV Les Lilas devant le tribunal administratif de Grenoble et le surplus de ses conclusions d'appel sont rejetées.”

Tribunal Administratif de Toulouse 18/12/2025

N° 2303903

“Par une requête et un mémoire enregistré le 6 juillet 2023 et le 5 juillet 2024, les associations France Nature Environnement Midi-Pyrénées, Nature en Occitanie et Nature Comminges demandent au tribunal :

1°) d'annuler la décision par laquelle le préfet de la Haute-Garonne a implicitement refusé de mettre en demeure la société Ferme d'Akuo 5 de déposer un dossier de demande de dérogation à l'interdiction de perturbation, de destruction d'habitats et de destruction de spécimens d'espèces protégées au titre des articles L. 411-1 et suivants du code de l'environnement dans le cadre du projet de centrale photovoltaïque flottante sis lieu-dit Borodie à Martres-Tolosane et Palaminy (Haute-Garonne) ;

2°) d'enjoindre au préfet de la Haute-Garonne de mettre en demeure la société Ferme d'Akuo 5 de déposer un tel dossier, et ce sous astreinte de 150 euros par jour de retard à compter du jugement à intervenir ;

3°) de suspendre les travaux de construction de la centrale photovoltaïque flottante en prescrivant toutes mesures conservatoires proportionnées de nature à assurer le respect des intérêts protégés par les dispositions de l'article L. 411-1 du code de l'environnement, et ce sous astreinte de 150 euros par jour de retard à compter du jugement à intervenir ;”

CONSIDERANT :

(...)

“10. Toutefois, le parc photovoltaïque flottant prévu n'est pas une installation hydro-électrique dès lors qu'il n'utilise, pour la production d'électricité, que la seule énergie du soleil et non celle de l'eau. En outre, en dépit des explications fournies par la société Engie PV Les Lilas concernant l'intérêt qu'il présenterait quant à l'amélioration de la production d'énergie locale et de la volonté de la commune d'accueillir sur son territoire une telle

installation, ce parc, qui sera raccordé au réseau de distribution électrique national et n'a pas vocation à bénéficier à la seule commune de Châteauneuf-sur-Isère et à ses habitants, n'a pas le caractère d'un service ou d'un réseau public local de distribution d'électricité. Par suite, le préfet de la Drôme a pu légalement se fonder sur les dispositions prévues de l'article N 1 du règlement du PLU pour refuser de délivrer le permis de construire sollicité. En outre, il résulte de l'instruction que le préfet aurait pris la même décision s'il n'avait retenu que ce motif qui justifie, à lui seul, le refus de permis de construire”

(...)

DECIDE :

“Article 1er : La décision implicite du 4 juin 2023 du préfet de la Haute-Garonne refusant de mettre en demeure la société Ferme d'Akuo 5 de déposer une demande de dérogation aux dispositions de l'article L. 411-1 du code de l'environnement est annulée.

Article 2 : Il est enjoint au préfet de la Haute-Garonne de mettre en demeure, dans un délai de deux mois à compter de la notification du présent jugement, la société Ferme d'Akuo 5 de déposer une demande au titre de l'article L. 411-2 du code de l'environnement et de maintien, le cas échéant, les travaux de construction en prescrivant toutes mesures conservatoires de nature à assurer le respect des intérêts protégés par les dispositions de l'article L. 411-1 du code de l'environnement.”

Article FNE Photovoltaïque flottant : le tribunal au secours de la biodiversité protégée (octobre 2025)

<https://www.fne-op.fr/2026/01/07/photovoltaique-flottant-le-tribunal-au-secours-de-la-biodiversite-protegee/>

“Dans un jugement du 18/12/2025, le tribunal administratif de Toulouse enjoint au préfet de la Haute-Garonne de mettre en demeure un porteur de projet solaire de respecter la loi sur les espèces protégées. Cette décision de justice fait suite à un travail très argumenté effectué par les associations FNE Occitanie Pyrénées, Nature En Occitanie et Nature Comminges, et porté devant la justice.”

“Un site connu et reconnu par les ornithologues

*Ces plans d'eau ont été identifiés, du fait des suivis naturalistes réalisés depuis des années par les associations de protection de la nature, comme **espaces naturels remarquables** au sein du schéma de cohérence territoriale (SCoT). Or, comme le rappelle le jugement :*

*Il résulte toutefois des avis de la mission régionale d'autorité environnementale et du syndicat mixte d'études et d'aménagement de la Garonne missionné par la direction départementale des territoires de la Haute-Garonne, recensant divers avis techniques d'experts de l'avifaune, que **les impacts du projet apparaissent fortement minimisés par l'étude d'impact** produite à la demande de la société porteuse de projet.*

(...) Parmi les près de 200 espèces d'oiseaux recensées sur le site, on peut en citer de nombreuses protégées : Faucon hobereau, Grèbe castagneux et huppé, Echasse blanche, Mouette mélanocéphale, Hironde de rivage et Martin pêcheur d'Europe.”

Un jugement important pour préserver la biodiversité tout en produisant des énergies renouvelables

(...)

Malgré des observations déposées lors de l'enquête publique alertant la préfecture sur la forte sensibilité écologique du site, le projet n'avait pas prévu de se soumettre à la législation sur les espèces protégées, imposant le dépôt d'une dérogation espèces protégées.

Pourtant, et comme l'indique la décision du tribunal :

Il n'est pas davantage contesté que les connaissances scientifiques disponibles à la date de la décision ne permettent pas de mesurer l'impact des panneaux photovoltaïques flottants sur la végétation aquatique, source d'alimentation pour l'avifaune, ni la pertinence du taux de couverture maximal du plan d'eau ou de distance à la rive. L'impact de la réduction de la surface d'eau libre sur l'avifaune n'est pas analysé, non plus que les interactions entre les différents plans d'eau, alors que les experts avancent que la majorité des oiseaux identifiés sur le site recherchent des espaces aquatiques ouverts de grande superficie.

Ainsi, au regard du nombre d'espèces protégées recensées, de l'intérêt ornithologique du site d'implantation du projet et des insuffisances de l'évaluation conduite par la société titulaire du permis de construire, le risque d'atteinte aux espèces protégées apparaît suffisamment caractérisé et le projet doit être regardé comme étant susceptible d'affecter la conservation d'espèces animales protégées et de leurs habitat.”

Cour administrative d'appel de Nancy 18 décembre 2025

N° 25NC00866

“La société Urba 384 a demandé au tribunal administratif de Châlons-en-Champagne d'annuler l'arrêté du 4 avril 2024 par lequel le préfet de la Marne a refusé de lui délivrer un permis de construire une centrale photovoltaïque au lieu-dit la Noue Marnay à Athis.

Par un jugement n° 2401331 du 6 février 2025, le tribunal administratif de Châlons-en-Champagne a annulé l'arrêté du 4 avril 2024 et enjoint au préfet de la Marne de délivrer à la société Urba 384 le permis de construire qu'elle a demandé.

Par une requête, enregistrée le 8 avril 2025, le ministre de l'aménagement du territoire et de la décentralisation demande à la cour administrative d'appel de Nancy d'annuler ce jugement du 6 février 2025.”

DECIDE :

“Article 1er : La requête du ministre de l'aménagement du territoire et de la décentralisation est rejetée.”

Cour administrative d'appel de Toulouse 11/12/2025

N° 25TL00635

“L'association Nature en Occitanie, l'association de protection des rivières ariégeoises « Le Chabot » et l'association le Comité écologique ariégeois ont demandé au tribunal administratif de Toulouse d'annuler l'arrêté du 8 février 2024 par lequel le préfet de l'Ariège a accordé une dérogation à l'interdiction de destruction d'espèces protégées à la société par actions simplifiée CN'AIR concernant son projet de parc photovoltaïque flottant situé sur le territoire de la commune de Montaut.

Par un jugement n° 2402117 du 30 janvier 2025, le tribunal administratif de Toulouse a, d'une part, annulé cet arrêté (article 1er), d'autre part, a rejeté les conclusions présentées par la société CN'AIR sur le fondement des articles L. 181-18 du code de l'environnement et L. 761-1 du code de justice administrative (article 2) et, enfin, mis à la

charge de l'Etat une somme de 1 500 euros à verser aux associations invoquées sur le fondement de l'article L. 761-1 du code de justice administrative (article 3).

Par une requête et un mémoire, enregistrée sous le n° 25TL00635 le 25 mars 2025 et le 4 septembre 2025, la société CN'AIR, représentée par Me Gelas, demande à la cour d'annuler ce jugement (...)."

CONSIDERANT :

(..)

"Il résulte de tout ce qui précède que la société CN'AIR et le ministre de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche ne sont pas fondés à soutenir que c'est à tort que, par le jugement attaqué, le tribunal administratif de Toulouse a annulé l'arrêté du 8 février 2024 par lequel le préfet de l'Ariège a accordé à cette société une dérogation « espèces protégées » pour son projet de parc photovoltaïque flottant."

DECIDE :

(...)

"Article 2 : La requête de la société CN'AIR dans l'instance enregistrée sous le n° 25TL00635 et la requête du ministre de la transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche dans l'instance enregistrée sous le n° 25TL00690 sont rejetées."

(...)

Cour administrative d'appel de Toulouse 10 juillet 2025

N° 23TL01307

"L'association France Nature Environnement Languedoc-Roussillon a demandé au tribunal administratif de Montpellier d'annuler l'arrêté du 3 mars 2021 par lequel le préfet de l'Aude a accordé une dérogation à l'interdiction de destruction d'espèces protégées à la société O'MEGA 2 concernant son projet de centrale photovoltaïque sur la commune de Raissac d'Aude et la décision implicite par laquelle le préfet de l'Aude a rejeté sa demande tendant au retrait de cet arrêté."

Par un jugement n° 2104555 du 4 avril 2023, le tribunal administratif de Montpellier a annulé cet arrêté et la décision implicite opposée par le préfet au recours gracieux de l'association France nature environnement Languedoc-Roussillon et a rejeté le surplus des conclusions des parties.

Par une requête sommaire et une mémoire complémentaire, enregistrée les 2 juin 2023 et 27 septembre 2023, la société O'MEGA 2, représentée par Me Guiheux, demande à la cour d'annuler ce jugement (...)."

CONSIDERANT :

(...)

"7. Il résulte de tout ce qui précède, et sans qu'il soit besoin de statuer sur l'autre motif retenu par les premiers juges tirés de ce que le projet ne répond pas à une raison impérative d'intérêt public majeur, que la société O'MEGA 2 n'est pas fondée à soutenir que c'est à tort que, par le jugement attaqué, le tribunal administratif de Montpellier a annulé l'arrêté du 3 mars 2021 par lequel le préfet de l'Aude lui a accordé une dérogation " espèces protégées " pour son projet de parc photovoltaïque flottant."

(...)

DECIDE :

"Article 1er : La requête de la société O'MEGA 2 est rejetée."

(...)

12. "Addressing chemical contamination from floating photovoltaic systems: the need for comprehensive analytical monitoring" (juin 2025)

(Gestion de la contamination chimique des systèmes photovoltaïques flottants : la nécessité d'une surveillance analytique complète)

de Aline Reis De Carvalho, Emeline Hanozin, Griet Jacobs , Jan Jordens et Stefan Voorspoels
GOAL – Institut flamand de recherche technologique (VITO), Mol, Belgique, juin 2025

https://www.kmae-journal.org/articles/kmae/full_html/2025/01/kmae240105/kmae240105.html

*“(…) la contamination chimique potentielle des systèmes photovoltaïques flottants (FPV) exige une étude approfondie. Des métaux comme le plomb, l'argent et le chrome peuvent être libérés par les structures photovoltaïques. Les matériaux de la couche arrière et du revêtement, composés de (fluoro)polymères, peuvent introduire des substances per- ou polyfluorées (PFAS) dans l'eau. De plus, les flotteurs en plastique peuvent se dégrader avec le temps, libérant ainsi des particules de plastique et des additifs polymères tels que des stabilisateurs UV et des antioxydants. **L'impact environnemental à long terme des matériaux des systèmes FPV, y compris les produits de transformation susceptibles d'apparaître au cours de leur longue durée de vie, reste encore mal connu.**”*

*“Une revue de la littérature récente a mis en évidence plusieurs applications potentielles des PFAS dans les modules PV, notamment les revêtements autonettoyants et antireflets, les matériaux de la face avant et de la face arrière, les câbles et fils isolants, ainsi que leur utilisation comme liant. Cette revue a également souligné **un manque important d'informations concernant les types spécifiques de PFAS utilisés, leurs quantités, l'épaisseur des couches et les caractéristiques des composants dans lesquels ils sont incorporés** (¹⁰).”*

“Après leur déploiement, les systèmes FPV sont soumis à divers facteurs de stress, notamment environnementaux, tels que le rayonnement solaire incident, la température, l'humidité, les contraintes mécaniques et l'encrassement. Ces facteurs de stress accélèrent la dégradation des différents composants des modules photovoltaïques, entraînant la corrosion des éléments métalliques, la dégradation des revêtements et la photo-oxydation (¹¹).”

Concernant les métaux

*“Les panneaux solaires contiennent des métaux précieux et cancérigènes, tels que le cadmium, le chrome, le plomb, l'argent, le sélénium et le tellure (Sica et al. , 2018). Le lessivage de ces métaux est réduit par l'encapsulation en laminé de verre, mais l'altération et la dégradation peuvent entraîner une détérioration de l'encapsulant et, par conséquent, la libération de métaux. (Fig. 2). Cette préoccupation a été initialement soulevée dans le contexte de la fin de vie des modules PV et de leur élimination dans les décharges (Sharma et al. , 2021 ; Sica et al. , 2018 ; Weckend et al. , 2016). Lors d'expériences de lixiviation utilisant de l'eau de pluie simulée, la lixiviation des métaux à partir de cellules photovoltaïques à base de silicium s'est avérée particulièrement importante après un an, l'argent, **le plomb et le chrome étant libérés jusqu'à 27 % de leur teneur initiale** (Nain et Kumar, 2020). **La probabilité calculée de***

¹⁰ Nain et Anctil, 2025 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032125002357>

¹¹ Aghaei et al. , 2022 https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5124940

dépassement des limites réglementaires pour les eaux de surface atteignait 92 % pour plusieurs technologies photovoltaïques testées, notamment pour l'aluminium dans les modules multi-Si et mono-Si ([Nain et Kumar, 2020](#)). Dans une autre étude sur la lixiviation des métaux dans des conditions simulant l'élimination des déchets, il a été démontré que les taux de lixiviation augmentaient avec l'âge du module photovoltaïque. Des métaux tels que le plomb, l'aluminium, le zinc et le cuivre atteignaient des concentrations jusqu'à trois fois supérieures dans les systèmes photovoltaïques à base de silicium vieilliss (soit une durée de vie de 30 ans), comparativement aux systèmes neufs ([Sharma et al. , 2021](#)). La présence d'une encapsulation en verre laminé réduisait la lixiviation du plomb, tandis qu'en son absence, la concentration de plomb dépassait les limites réglementaires pour l'eau potable dans toutes les conditions testées (10 ou 15 µg/L) ([Sharma et al. , 2021](#)). Cette constatation est très préoccupante compte tenu de ses implications sur la santé, notamment les dommages au système nerveux, au cerveau et aux reins, qui peuvent dégénérer en affections potentiellement mortelles. ([Wani et al. , 2015](#)).”

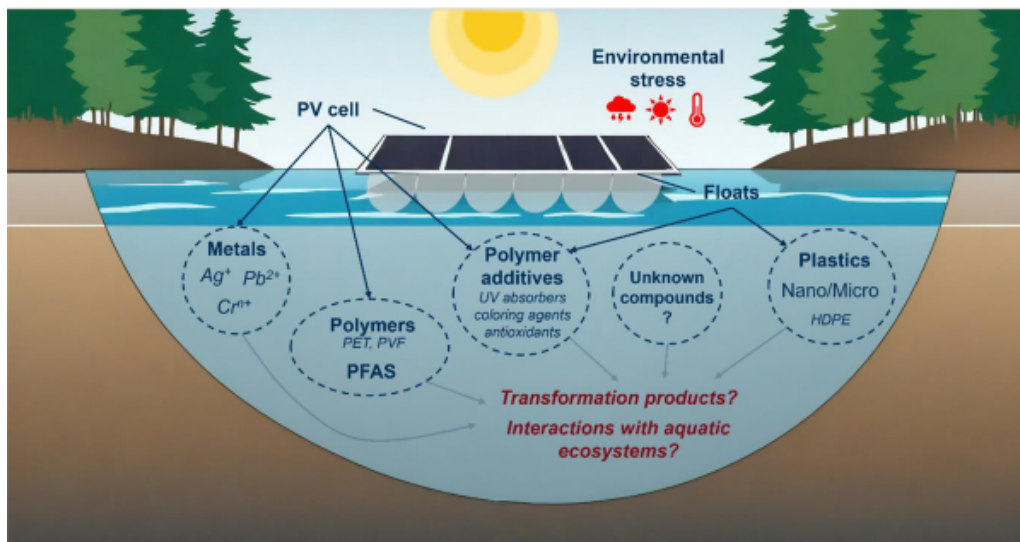


Figure 2. Représentation graphique de la contamination chimique potentielle résultant de la mise en place de panneaux photovoltaïques flottants (FPV).

Concernant les PFAS

(...)

“Les sous-produits de la synthèse des PFAS ne sont pas liés de manière covalente aux polymères et peuvent être libérés dans l'environnement lors de la fabrication, du traitement et de l'élimination, ainsi que pendant la durée de vie des systèmes FPV une fois installés ([Fig. 2](#)). La quantité de lixiviation des fluoropolymères dépend significativement du type de polymère, de leurs procédés de production et des traitements ultérieurs ([Lohmann et al. , 2020](#)). Par exemple, l'émission de PFAS de faible poids moléculaire, tels que les acides polyfluoroalkylcarboxyliques différant par des unités 1,1-difluoroéthène (CF_2CH_2), a été observée en aval des installations de fabrication de PVDF près de Decatur en Géorgie ([Newton et al. , 2017](#)). Une étude de dégradation à l'échelle de plusieurs décennies utilisant des microcosmes a démontré la dégradation des polymères à base de fluorotélomères par des processus abiotiques (par exemple , l'hydrolyse) et biotiques (par exemple , la dégradation microbienne), libérant

divers PFAS tels que les alcools fluorotélomères (FTOH), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) ⁽¹²⁾ et les acides carboxyliques perfluorés à chaîne plus courte (Lohmann et al. , 2020 ; Washington et al. , 2015).” (...)

“Cependant, d'autres revêtements hydrophiles et hydrophobes, tels que le polydiméthylsiloxane (PDMS) et le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), sont également disponibles. Syafiq et al. , 2022 ; Zahedi et al. , 2021). Bien que ces revêtements contribuent au maintien de l'efficacité des modules, ils peuvent devenir une source de contamination environnementale au fil du temps, notamment en raison de leur dégradation sous l'effet des UV et des intempéries. À mesure que leur surface se détériore, ces revêtements perdent en efficacité et s'encrassent davantage, et peuvent également libérer des produits de dégradation et des résidus chimiques susceptibles de contaminer les cours d'eau avoisinants et de menacer les écosystèmes aquatiques (Zahedi et al. , 2021).”

Malgré la présence de matériaux dangereux et dégradables dans les systèmes FPV, la plupart des études de dégradation disponibles se concentrent sur des composants individuels testés dans des conditions contrôlées ou exposés à des facteurs de stress uniques, ciblant souvent des contaminants spécifiques (Aghaei et al. , 2022 ; Mathijssen et al. , 2020 ; Nain et Kumar, 2020). **Ces études abordent rarement le risque de contamination environnementale en conditions réelles, où de multiples facteurs de stress interagissent au fil du temps, ni n'évaluent le comportement de lixiviation de l'ensemble du système FPV et son impact sur les bassins versants. Comprendre et surveiller la lixiviation dans des conditions aussi complexes et variables exige un cadre analytique complet et adapté (...).**” Cette étude détaille ce cadre analytique.

13. A global study of freshwater coverage by floating photovoltaics (janvier 2024)

(Une étude mondiale de la couverture des eaux douces par les cellules photovoltaïques flottantes)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X23008782>

“Extrait

Le déploiement des systèmes photovoltaïques flottants (PVF) s'accélère à l'échelle mondiale et leur couverture à la surface de l'eau peut fortement influencer leurs impacts écologiques. Pourtant, une évaluation globale de leurs caractéristiques fait encore défaut. Nous avons recensé 643 centrales PVF construites dans le monde entier. Nous avons constaté que ces

¹² Interdit à la production, à l'import et à l'export depuis 2020, classé cancérigène en 2023

centrales existent actuellement dans 28 pays, principalement concentrés en Asie. La couverture PVF est très variable d'un lac à l'autre, allant de 0,004 % à 89,9 % de la surface lacustre. En moyenne, la couverture PVF est de 34,2 % (± 22 écarts-types, $n = 494$), avec des variations importantes selon les continents. La couverture PVF est fortement influencée par la taille et la complexité morphologique du lac : les petits lacs et ceux à la morphologie simplifiée présentent une couverture PVF plus élevée. Cette forte variabilité de la couverture PVF à l'échelle mondiale suggère une forte dépendance de leurs impacts écologiques au contexte, impact qui sera probablement plus marqué dans les petits lacs où la couverture PVF est plus importante.”

14. Floating photovoltaics strongly reduce water temperature: A whole-lake experiment (février 2025)

(Les panneaux photovoltaïques flottants réduisent fortement la température de l'eau : une expérience menée sur un lac entier)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479725002063>

“Globalement, nous avons constaté que la présence de PVF entraînait une forte diminution de la température annuelle de l'eau (1,2 °C en moyenne). Cette diminution de la température de l'eau induite par les PVF augmentait significativement avec la température de l'air et variait selon les saisons, les réductions les plus importantes (jusqu'à 3 °C) étant observées lors des journées les plus chaudes de l'année, au printemps et en été. De plus, la diminution de la température de l'eau s'est également produite dans des zones des lacs non couvertes de PVF. Dans le contexte du réchauffement climatique, la baisse de la température de l'eau en été pourrait être bénéfique aux organismes d'eau douce, mais ces bénéfices pourraient être contrebalancés par d'autres impacts négatifs tels que la diminution de l'oxygène dissous et des modifications du cycle du carbone, notamment les émissions de gaz à effet de serre. Par conséquent, les effets en cascade de la pollution par les algues (FPV) sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes d'eau douce restent à évaluer.”

“Des études complémentaires sont essentielles pour approfondir notre compréhension de la manière dont les installations PEP peuvent moduler non seulement la dynamique thermique, mais aussi les processus écologiques clés tels que le cycle des nutriments, la production primaire et les émissions de gaz à effet de serre. Les recherches futures devraient s'attacher à évaluer empiriquement les effets en cascade des PEP [production d'énergie solaire photovoltaïque] sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. De plus, des études intégrant une plus grande variété d'écosystèmes (par exemple, des lacs et des réservoirs plus vastes et plus

profonds) présentant différentes dynamiques thermiques et situés dans différentes zones climatiques contribueront à améliorer notre compréhension des interactions entre les centrales photovoltaïques et l'environnement.”

15. Illuminating the Impact of a Floating Photovoltaic System on a Shallow Drinking Water Reservoir: The Emergence of Benthic Cyanobacteria (avril 2025)

(Mise en lumière de l'impact d'un système photovoltaïque flottant sur un réservoir d'eau potable peu profond : l'émergence de cyanobactéries benthiques)

<https://www.mdpi.com/2073-4441/17/8/1178>

“Les systèmes photovoltaïques flottants (PVF) peuvent jouer un rôle important dans la transition énergétique. Cependant, leurs effets sur la qualité de l'eau et l'écologie restent encore mal connus. Un système PVF à suivi solaire (couverture de 24 %) a été installé sur un réservoir d'eau potable peu profond. Nous avons observé pour la première fois une prolifération massive de cyanobactéries benthiques (algues bleues-vertes), susceptibles de dégrader la qualité de l'eau, sous le système PVF, tandis que les macrophytes et les algues benthiques, comme la chara (libellule), ont quasiment disparu. Ce phénomène s'explique par le calcul de la disponibilité lumineuse. Le brassage naturel de la colonne d'eau a été peu affecté et la température moyenne du réservoir n'a pas varié significativement. La biofouling de la partie immergée du système PVF consistait principalement en une fixation massive de moules du genre Dreissena, impactant la qualité de l'eau. Le nombre d'oiseaux d'eau et les concentrations de bactéries fécales sont restés similaires après l'installation du système PVF. En particulier dans les eaux peu profondes et transparentes, les systèmes (...) (FPV) présentent un risque important de favoriser la prolifération de cyanobactéries benthiques indésirables. Globalement, ces nouvelles données peuvent aider les gestionnaires de l'eau et les institutions gouvernementales à évaluer les risques que les systèmes FPV font peser sur la qualité de l'eau et l'écologie des eaux intérieures.”

16. An interdisciplinary literature review of floating solar power plants (mars 2025)

(Une revue de la littérature interdisciplinaire sur les centrales solaires flottantes)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124008207>

“Dans un premier temps, une analyse bibliographique complète de plus de 900 publications est présentée, permettant de retenir environ 400 articles. Ensuite, trois axes d'analyse sont proposés : la conception, la modélisation et les impacts environnementaux. Ces axes couvrent divers composants structurels, les interactions système-air-eau, leurs méthodes de modélisation, la prévision de la production d'énergie et les impacts potentiels sur l'environnement, notamment la faune et la flore. Les principaux résultats suggèrent un potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique grâce à des techniques de refroidissement par eau, des conceptions modulaires innovantes facilitant la mise à l'échelle, des impacts environnementaux positifs tels que la création d'habitats artificiels, et l'utilisation de structures marines avancées, comme un brise-lames, pour protéger les systèmes solaires de l'impact des vagues. De plus, le coût actualisé de l'électricité pour diverses études sur le solaire flottant est présenté, incluant des projets théoriques et pratiques. Ce coût a diminué pour atteindre un niveau de 0,05 à 0,07 USD/kWh, rendant le photovoltaïque flottant de plus en plus compétitif comme option énergétique propre et abordable. Globalement, cette étude vise à faciliter la recherche et les projets interdisciplinaires dans le secteur en plein essor du photovoltaïque flottant .”

“5.1 . Effets des systèmes FPV sur l'environnement

Dans une étude préliminaire, Gasparatos et al. [329] ont mis en évidence divers impacts environnementaux liés à la propulsion par faisceaux multiples (FPV) à toutes les phases d'un projet (planification, construction, exploitation et démantèlement), allant de la pollution par les contaminants aux effets géomorphologiques et géohydrauliques. Hooper et al. [4] ont corroboré ces préoccupations dans leur brève analyse des impacts et avantages environnementaux de la FPV marine, soulignant les effets environnementaux négatifs, tels que l'impact des ancrages et des câbles sur les sédiments (et la remise en suspension qui en découle), l'ombrage, la propagation d'espèces exotiques et les effets des champs électromagnétiques . Pouran et al. [27] ont complété cette liste en mentionnant, par exemple, la restriction des échanges gazeux et d'oxygène, la pollution chimique et le rejet de microplastiques . Hooper et al. [4] ont également noté que ces effets spécifiques étaient fortement influencés par la conception du système, ainsi

que par les caractéristiques géographiques, météorologiques et hydrologiques du site d'installation.

Plus précisément, deux principaux domaines d'impact de la FPV sur l'environnement se dégagent de la littérature consultée : (1) la réduction des pertes par évaporation ; (2) la qualité de l'eau et la prolifération d'algues. Les sous-sections suivantes présentent une analyse détaillée de la modélisation et de ces effets."