

Solaire flottant en Région Grand-Est

Synthèse des études d'impact et étude bibliographique des recommandations opérationnelles pour la biodiversité

Synthèse du rapport



Auteur de la photographie : SPG Solar (Californie), photo libre. Panneaux solaires couvrant la partie centrale d'un plan d'eau.

wikipédia, par SPG Solar, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74930051>

Ce document peut être reproduit sans autorisation expresse, en citant la source de la manière suivante :
« Cerema, Région Grand-Est, 2025 - Solaire flottant en Région Grand-Est. Synthèse des études d'impact et étude bibliographique des recommandations opérationnelles pour la biodiversité – Synthèse du rapport – Pierre MAZUER et François NOWICKI, Cerema-Est, Metz - 10 p ».

Le rapport complet de 82 pages et la présente synthèse du rapport sont disponibles sur les plateformes Internet CeremaDoc et HAL-Open-Science.

Mots clés : Solaire flottant, Photovoltaïque, Flottovoltaïque, Anthropisation, Plan d'eau, Biodiversité aquatique, Biodiversité terrestre, Milieu aquatique, Aménagement, Bibliographie, Synthèse.

Commanditaire : Région Grand-Est, pour le rapport complet (82 pages).

Auteur principal : Pierre MAZUER. Tél : 03 87 20 46 34. Mél : pierre.mazuer@cerema.fr
Responsable du rapport

Pierre MAZUER – Département TMI – Groupe Biodiversité, aménagement et nature en ville (BANV)
Direction : DTer-Est, Bâtiment C, île du Saulcy, CS 30855, 57045 METZ Cedex 1

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
V1 (synthèse)	16/05/2025	Etabli par Pierre MAZUER, après prise en compte des relectures internes Cerema (François NOWICKI et Luc CHRETIEN).
V définitive (synthèse)	25/06/2025	Après prise en compte des contributions des relecteurs (voir liste ci-dessous)

Références

Référence Cerema (NOVA) : 24-ET-0407.

Lettre de commande de la Région Grand-Est : 2024-00013667

Nom	Service	Rôle	Date	Visa
Pierre MAZUER	Cerema-Est / Département territoires, mobilités et infrastructures	Auteur principal	16/05/2025	
François NOWICKI	Même service	Auteur	16/05/2025	
Luc CHRETIEN		Relecteur : chef du groupe BANV		
Estelle PROANO-LANG et Garance RODET	Région Grand-Est	Relecture	18/06/2025	

CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Le solaire flottant ou flottovoltaïque désigne une technologie de production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques installés sur des structures flottantes, disposées à la surface de milieux aquatiques.

Le flottovoltaïque est en cours de développement dans la région Grand-Est.

Une synthèse bibliographique a été réalisée par le Cerema, à la demande de la Région Grand-Est et des opérateurs de l'État, 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.

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 ...).

La présente étude a fait l'objet d'un suivi, jusqu'à la finalisation du rapport, par un groupe de travail réunissant le Cerema, les services Biodiversité et Énergie de la Région Grand Est, la DREAL, l'Agence de l'eau Rhin-Meuse et l'OFB.

1 CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES ETUDES D'IMPACT

Les demandes d'installation de centrales solaires concernent 24 plans d'eau. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- La production moyenne annuelle attendue, au total pour les 24 plans d'eau est d'environ 230 000 MWh/an. Les variations sont fortes par plan d'eau, allant de 2 040 à 32 300 MW/an, avec une médiane de 6 410 MWh/an.
- La superficie des plans d'eau varie fortement de 3 ha à 53 ha, avec une médiane à 8.9 ha.
- Le taux de couverture de la superficie des plans d'eau par les îlots solaires (panneaux photovoltaïques sur flotteurs) varie de 24 % à 65 %, avec une médiane de 40 %.
- Les 24 plans d'eau ont été creusés lors de l'exploitation de gravières dans une nappe phréatique affleurante. Plus de la moitié (14/24) sont situés dans une zone inondable de cours d'eau.

Les demandes concernent essentiellement le département de l'Aube (10 plans d'eau) et de manière plus réduite, les départements de la Marne (5), du Bas-Rhin (4), de la Meuse (3), et de la Haute-Marne (2). Finalement, deux secteurs sont actuellement concernés, la Champagne (surtout dans le triangle Bar-le-Duc – Troyes – Nogent-sur-Seine) et le Bas-Rhin.

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).

Ces observations du Cerema donnent lieu aux recommandations opérationnelles listées au chapitre 3 de la présente synthèse et sont reprises dans nos tableaux 1 et 2 ci-après.

2 BIBLIOGRAPHIE DES RECOMMANDATIONS OPERATIONNELLES

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, 2023 : « *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 PROPOSEES 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) :

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 » (hélophytes, 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 = <u>les herbiers de la zone littorale 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 événements 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.

