

## Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel du Grand Est

Avis n° 2022 - 109		
<b>Séance plénière du</b> <b>7/04/2022</b>  Présidence : Michèle TREMOLIERES	<b>Objet : Auto-saisine du CSRPN Grand Est</b> au sujet du développement du photovoltaïque au sol en Grand Est respectant le principe d'absence de perte nette de biodiversité	<b>Vote en conseil plénier :</b>  Favorable

### Contribution pour un développement du photovoltaïque au sol en Grand Est respectant le principe d'absence de perte nette de biodiversité

#### Sommaire

<b>Contexte et objectif de cette contribution .....</b>	<b>2</b>
<b>Pour une réponse simultanée et interdépendante afin de faire face à une double crise écologique mondiale : climat et biodiversité .....</b>	<b>3</b>
<b>Quelles sont les atteintes potentielles, prévisibles et avérées à la biodiversité ? .....</b>	<b>5</b>
▶ Perte et fragmentation des habitats naturels et des habitats d'espèces .....	5
▶ Altération des habitats naturels par invasion par des espèces exotiques envahissantes .....	7
▶ Mortalité directe .....	7
▶ Pollutions physiques, chimiques et lumineuses.....	8
▶ Modification du microclimat (conditions stationnelles) et captation de l'eau .....	10
▶ Synthèse sur la connaissance des impacts des CPV sur la biodiversité .....	11
<b>Quelles sont les principes qui doivent guider un développement du photovoltaïque au sol respectueux de la biodiversité du territoire ? .....</b>	<b>13</b>
▶ Principe 1 : Développer le solaire-photovoltaïque en priorité dans les zones artificialisées et réduire significativement le développement des infrastructures d'appui (raccordement, voies d'accès) .....	13
▶ Principe 2 : Mettre en place des zones d'exclusions systématiques pour les espaces naturels à forte valeur écologique ou servant de puits de carbone.....	14
▶ Principe 3 : Appliquer le principe de précaution pour les espèces protégées et s'appuyer sur le CSRPN pour une prise de décision éclairée lors de l'émission des avis des services instructeurs. ....	16
▶ Principe 4 : Améliorer la connaissance des impacts sur la biodiversité des technologies actuelles et proposer le cas échéant des solutions alternatives moins impactantes .....	17
▶ Principe 5 : S'assurer que les impacts sur les sols et la biodiversité soient les plus faibles possibles lors de la remise en état des sites .....	17
<b>Conclusion.....</b>	<b>18</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>19</b>

## Contexte et objectif de cette contribution

Le CSRPN est une instance d'expertise sur le patrimoine naturel, régie par l'article L. 411-1A et par les articles R. 411-22 à 30 du code de l'environnement et placée sous l'autorité du Préfet de région et du Président du Conseil régional. Le CSRPN est saisi pour avis sur toute question relative à l'inventaire et à la conservation du patrimoine naturel.

**Le CSRPN s'est saisi du thème du développement du photovoltaïque au sol en région Grand Est afin de s'assurer que cette politique respecte le principe d'absence de perte nette de biodiversité.** A l'instar de la stratégie nationale dans ce domaine, la région Grand Est agit en faveur de la transition énergétique et de la lutte contre le changement climatique. Les projets d'énergies renouvelables voient leur nombre croître de manière exponentielle. La lutte contre le changement climatique est annoncée comme une priorité avec comme engagement de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050 (par rapport au niveau d'émission de 1990).

Les installations solaires concernées sont de trois types :

- les systèmes attachés à un bâtiment consommateur d'électricité, qu'il soit à usage résidentiel (maison individuelle, habitat collectif social ou privé) ou professionnel (bureaux, commerces, équipements publics, industrie, agriculture). Les modules peuvent être surimposés à la toiture (toit en pente ou toiture-terrasse) ou bien intégrés au bâti. Leur surface active est de quelques dizaines à quelques milliers de mètres carrés, ce qui correspond à des puissances de quelques kilowatts-crête à quelques mégawatts crête ;
- les systèmes posés sur ou intégrés à des structures non consommatrices d'électricité mais pour lesquelles les panneaux remplissent une fonction bien identifiée en complément de la production d'électricité (ombrière de parking, couverture de passage public ou de quai de gare, mur anti-bruit...). La surface active de tels systèmes est en général de quelques centaines à quelques milliers de mètres carrés, ce qui correspond à des puissances de quelques dizaines à quelques centaines de kilowatts-crête ;
- les installations photovoltaïques au sol (sur surface terrestre ou sur surface aquatique) constituées de nombreux modules portés par des structures, dont la production alimente directement le réseau électrique. Leur surface active est de quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés, ce qui correspond à des puissances de quelques centaines de kilowatts-crête à plusieurs dizaines de mégawatts-crête.

**La contribution du CSRPN portera essentiellement sur le dernier type : les installations photovoltaïques au sol. Cette catégorie comprend les installations dites « terrestres » et les installations « flottantes » c'est-à-dire celles établies sur l'eau.**

## **Pour une réponse simultanée et interdépendante afin de faire face à une double crise écologique mondiale : climat et biodiversité**

La planète fait face actuellement à deux crises écologiques majeures - les changements climatiques et la perte de biodiversité. Ces deux crises ont atteint un tel niveau que l'humanité doit maintenant relever rapidement deux défis majeurs – réduire fortement les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et stopper le déclin de la diversité du vivant. Ces deux crises sont unanimement démontrées et reconnues par la communauté scientifique.

L'urgence climatique impose de s'affranchir au plus vite des énergies fossiles -gaz, pétrole et charbon dont la combustion émet notamment du dioxyde de carbone, principal gaz à l'origine des changements observés. Parallèlement, il est essentiel de préserver les capacités de stockage du dioxyde de carbone par les écosystèmes, en particulier par les forêts et les surfaces océaniques. S'affranchir de ces formes d'énergies fossiles implique de conjuguer sobriété énergétique et production d'énergies dites renouvelables. Dans la région Grand Est, ces énergies alternatives sont de différentes natures : éolien, photovoltaïque, méthanisation, hydroélectricité, bois énergie et géothermie.

Pour autant, il convient de bien appréhender que si ces énergies qualifiées de « vertes » permettent de progresser fortement dans la diminution des émissions de gaz à effet de serre, les effets négatifs directs et indirects de leur mode de production sur la biodiversité peuvent être très significatifs.

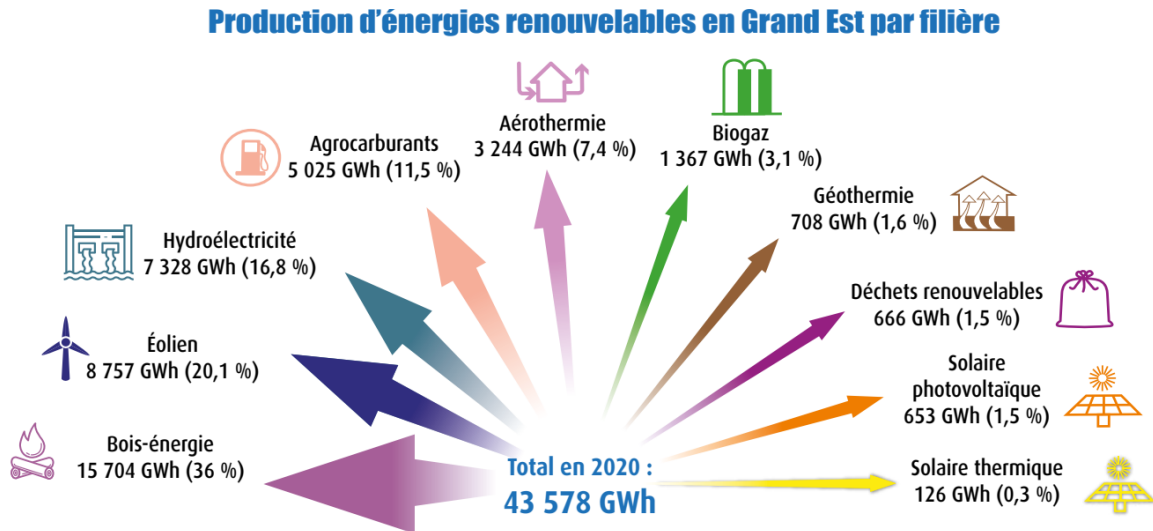
L'urgence de stopper l'érosion de la biodiversité nécessite notamment de mettre fin à la fragmentation et à l'anthropisation des paysages ainsi qu'à la destruction des écosystèmes tout en restaurant les trames écologiques (verte, bleue, noire, sonore) sans lesquelles les espaces naturels protégés ne joueront pas leur rôle de conservation.

Améliorer la situation climatique ne peut pas se faire au détriment des écosystèmes et de la biodiversité qu'ils hébergent, dont la disparition est tout autant inquiétante et lourde de conséquences que le changement climatique en cours. Cela est d'autant plus vrai que les deux crises écologiques ne sont pas indépendantes, la destruction des écosystèmes contribue à accentuer la crise climatique et limite les capacités d'adaptation à celle-ci. Il convient donc de prendre pleinement conscience qu'il est impérativement nécessaire de considérer ces deux crises simultanément, de ne pas les opposer et surtout de bien intégrer que la lutte contre le changement climatique. Cette lutte ne doit pas aggraver la crise de la biodiversité, dont les conséquences peuvent s'avérer dramatiques compte tenu de l'ampleur des services que l'espèce humaine tire du bon fonctionnement des écosystèmes.

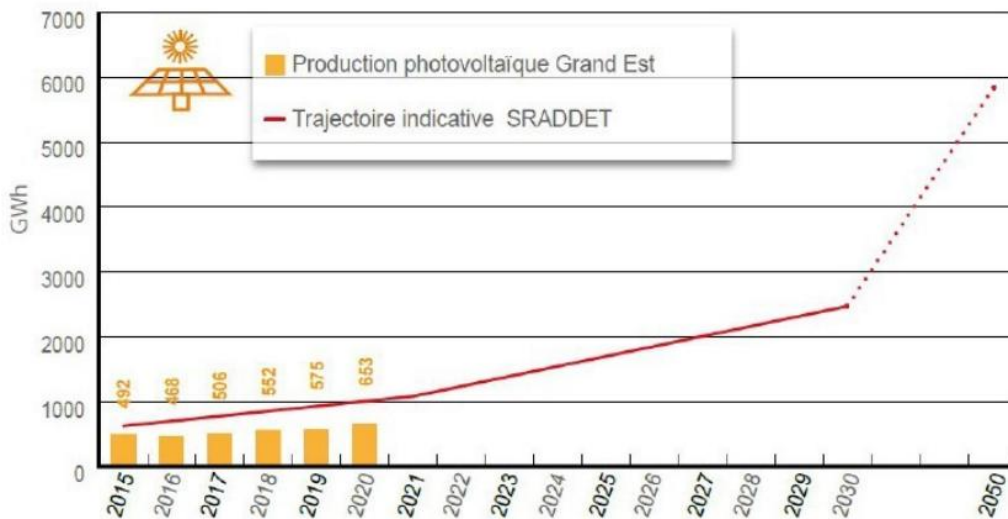
La Région Grand Est, engagée au niveau européen par le programme Life Biodiv'Est, doit saisir cette opportunité et se montrer particulièrement innovante pour porter cette réflexion. Dans le Grand Est, le développement du photovoltaïque est embryonnaire (1,5 % de la part des ENR totales), mais en plein essor (cf. graphiques ci-dessous). L'objectif du SRADDET pour les 10 prochaines années est de développer une production d'environ 2 000 GWh/an supplémentaires. Pour donner un ordre d'idée, si l'ensemble de cette électricité était délivré par des centrales photovoltaïques au sol, il faudrait une surface au sol de 1 600 à 2 400 ha pour assurer cette production (valeurs calculées sur l'emprise totale des projets industriels, c'est-à-dire les panneaux photovoltaïques et les espaces inter-panneaux).

Au-delà de répondre aux défis énergétiques et climatiques présents et à venir, il est donc important que ces politiques puissent dans le même temps intégrer la préservation de la biodiversité, autre

enjeu majeur pour nos sociétés. La loi de reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages de 2016 illustre cet enjeu. **Pour les projets soumis à évaluation environnementale, elle vise, entre autres, à une absence de perte nette voire à un gain de biodiversité**



**Fig. 1 :** Part actuelle des différentes énergies renouvelables dans le Grand Est (d'après Panorama des énergies renouvelables et de récupération en région Grand Est - Septembre 2021, Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Grand Est)



**Fig. 2 :** Trajectoire de développement de la filière photovoltaïque en région (SRADDET)

## Quelles sont les atteintes potentielles, prévisibles et avérées à la biodiversité ?

Dans ce chapitre, nous présenterons essentiellement **les atteintes à la biodiversité qui peuvent impacter les espaces naturels ou semi-naturels** (exemple des friches). Ce type de projet industriel peut avoir des effets positifs sur la biodiversité notamment lorsque l'implantation est réalisée sur des zones artificialisées ou très anthropisées. C'est pour cette raison que le principe n°1 énoncé plus loin dans cette contribution demande à ce que les centrales photovoltaïques au sol soient implantées prioritairement sur ce type de zone.

Les pressions exercées par l'implantation de centrales photovoltaïques au sol (parcs terrestres et flottants) sur la biodiversité des espaces naturels sont catégorisées de la façon suivante :

- la consommation d'espace, qui se traduit par la perte ou la fragmentation des habitats, disposant de l'effet sur la biodiversité le mieux documenté, d'où la vigilance du CSRPN sur ce sujet,
- la mortalité directe par collision des oiseaux et potentiellement sur les chauves-souris,
- la pollution des sols et des masses d'eau lorsque des produits chimiques toxiques sont utilisés pour le traitement des panneaux photovoltaïques et les herbicides,
- la perturbation du microclimat local.

Les atteintes à la biodiversité peuvent avoir lieu en phase de travaux, en phase d'exploitation, mais également lors de la remise en état des sites. Il est donc important que les travaux lors de ces trois phases soient bien identifiés et précisés lors de la rédaction des études d'impacts.

### ► Perte et fragmentation des habitats naturels et des habitats d'espèces

L'impact de l'utilisation des terres sur les écosystèmes naturels dépend de facteurs spécifiques tels que la topographie du paysage, la taille de la centrale solaire, le type de terrain, la distance par rapport aux écosystèmes sensibles et la biodiversité en place (Hernandez *et al.*, 2015 ; Turney & Fthenakis, 2011).

Les projets solaires au sol **nécessitent une grande surface de terrain pour leur construction** (Bukhary *et al.*, 2018 ; De Marco *et al.*, 2014 ; Hernandez *et al.*, 2015). Ils sont susceptibles d'accentuer fortement la perte et la fragmentation de l'habitat (Cameron *et al.*, 2012 ; Turney & Fthenakis, 2011), ce qui entraîne des conséquences écologiques directes et indirectes (Hernandez *et al.*, 2015 ; De Marco *et al.*, 2014), notamment :

- **Effets sur la végétation indigène.**
- Pour les parcs terrestres, ce sont les défrichements et la dégradation des couches supérieures du sol qui seront les deux facteurs susceptibles d'altérer ou de détruire certains types de végétation (Bukhary *et al.*, 2018 ; Cameron *et al.*, 2012 ; Turney & Fthenakis, 2011). Les habitats naturels se développant exclusivement sur des sols non perturbés (non déstructurés) seront les plus impactés : les forêts présentant des espèces caractéristiques des forêts anciennes, les prairies « anciennes » (présentes sur les photographies aériennes des années 1950), les pelouses sèches, les landes et les tourbières sont les principaux habitats

naturels qu'il faut préserver vis-à-vis de ces facteurs. Aucune mesure compensatoire associée à la perturbation/destruction de ces habitats ~~étés~~ ne pourra permettre une restauration écologique sur un temps court à moyen.

Concernant les parcs flottants, peu de recherches ont été menées sur les impacts sur la flore et la faune des écosystèmes aquatiques (Pimentel Da Silva & Branco, 2018). Il convient notamment d'évaluer l'ampleur de ces impacts et leur importance à long terme en fonction des caractéristiques locales (profondeur notamment) et de la surface impactée (Pimentel Da Silva & Branco, 2018). Ainsi la perturbation des sols et du substrat aquatique lors de la phase travaux (câblage) entraînera une altération de la composition floristique en favorisant les groupements aquatiques « dystrophes » (c'est à dire appauvris et déstructurés) et en faisant disparaître les herbiers oligo à mésotrophes par libération de particules en suspension et d'éléments minéraux.

- **Réduction des populations de chiroptères et de leurs espaces vitaux terrestres (territoire de chasse et corridors)** en raison de la déforestation et de manière plus globale de la modification des structures verticales de végétation lors de l'installation des centrales photovoltaïques dans des zones naturelles (milieu boisé, prairies, etc.). Les effets les plus marquants en Grand Est porteront sur les Rhinolophes et le Murin à oreilles échanquées sur les territoires ouverts à semi-ouverts et sur le Murin de Bechstein qui possède une distance de dispersion assez faible en forêt (Tillon, 2015).
- **Perte de territoires de chasse pour les chiroptères sur les plans d'eau.** Pour le Murin de Daubenton qui chasse au ras de l'eau et qui dépend principalement de ce milieu pour se nourrir, l'implantation de panneaux flottants va entraîner une incapacité de l'espèce à pouvoir chasser sur ces surfaces. Aucune mesure ne pourra éviter cet impact. Les modifications des conditions du milieu aquatique (altération des sols, ombre portée) vont entraîner potentiellement des modifications dans le cortège des invertébrés (composition et abondance). Les chauves-souris seront donc potentiellement impactées par ces changements. Même si toutes les espèces peuvent être soumises à cet effet, nous pouvons citer deux espèces vulnérables qui dépendent fortement des plans d'eau pour la recherche de nourriture : ce sont la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune.
- **Réduction de la richesse et de la densité des espèces d'oiseaux au sein de l'installation photovoltaïque ainsi que dans la zone environnante** (DeVault *et al.*, 2014 ; Visser *et al.*, 2019). La destruction ou l'altération (défrichage, ...) des structures arbustives ou arborées lors de la phase d'installation auront un effet sur tout un cortège avifaunistique spécialisé. Ce sont notamment les oiseaux inféodés aux milieux arbustifs (exemples des espèces de pies grièches ou de certaines fauvettes), les rapaces qui ont besoin de ces structures de végétation pour chasser et les oiseaux cavernicoles qui ont besoin d'arbres gîtes. La présence de panneaux au sol et la gestion régulière des végétations au sol (fauche, broyage, pâturage) pourront avoir également un impact sur les oiseaux qui nichent au sol (exemples : Oedicnème criard, Tarier des prés).
- **Perturbation des déplacements de la faune par la présence de nouvelles infrastructures routières et/ou la mise en place de clôtures** autour de la zone d'implantation (Cameron *et al.*, 2012 ; Guerin, 2017). Cela provoque un allongement des temps de déplacement quotidien des espèces mobiles et donc une perte d'énergie, voire une impossibilité de déplacement (par exemple : clôture de sécurité) (Guerin, 2017) et donc un isolement accru des populations d'espèces et une réduction du flux génétique (Thomas *et al.*, 2018 ; Turney &

Fthenakis, 2011) avec à termes des vortex d'extinction. Les mammifères terrestres seront les espèces où cet effet sera le plus important.

- **Déclin des pollinisateurs et de leurs habitats** (Walston *et al.*, 2018). Les mosaïques combinant les stades herbacés et arbustifs jouent un rôle très important pour une bonne partie des pollinisateurs. La modification des structures de végétation, de la composition floristique et de la perturbation des sols aura probablement un effet sur les cortèges de pollinisateurs.
- **Propagation accentuée des pathogènes dans la faune sauvage due à des effets de concentration des populations suite à une réduction de leur habitat.** Par exemple, la perte d'habitat aquatique a facilité la propagation de l'influenza aviaire à une vitesse très élevée dans l'avifaune sauvage qui se regroupe dans les dernières surfaces aquatiques restantes (effet de concentration). L'émergence dans la faune domestique et chez l'Homme est favorisée par la suite par la multiplication virale. (Vandegrift *et al.*, 2010 ; Johnson & Paull, 2011)
- **Perte prévisible d'espaces vitaux pour les reptiles** suite à la perte de structures arbustives et arborée et la perte par défrichement. Les modifications des structures herbacées (exemple passage d'une pelouse rase à une végétation prairiale haute) pourront également impacter l'accueil des reptiles sur un site.

### ► **Altération des habitats naturels par invasion par des espèces exotiques envahissantes**

Potentiellement, il est possible d'assister à des invasions d'espèces non indigènes, via les infrastructures routières qui servent de voies d'accès aux plantes envahissantes mais également par la dégradation des sols en phase de travaux. L'implantation de ces espèces exotiques peut faire disparaître de façon compétitive les espèces indigènes et être également un handicap pour le maintien ou la mise en place d'un pâturage (exemple du Sainfoin d'Espagne *Galega officinalis* toxique pour les animaux).

Dans les plans d'eau, la perturbation des fonds pendant la phase de travaux et de démantèlement en lien avec l'ancrage des structures, le câblage et le creusement de tranchées peut également modifier la composition du tapis végétal (cf. § précédent) en favorisant le développement d'espèces exotiques envahissantes.

### ► **Mortalité directe**

La mortalité directe découle des collisions avec l'infrastructure : ceci est avéré pour les oiseaux. Les insectes peuvent également être attirés par les installations photovoltaïques, ce qui augmentera la probabilité de collision des oiseaux (Horváth *et al.*, 2010). L'hypothèse de l'"effet de lac" suggère que les espèces dépendantes de l'eau (cygnes, oies, canards, grèbes, râles, foulques, oiseaux de rivage, oiseaux aquatiques) confondent de grandes étendues de panneaux solaires avec des plans d'eau, entrant ainsi en collision avec l'infrastructure lorsqu'ils tentent de se poser (Walston *et al.*, 2015 ; Visser *et al.*, 2019).

Au vu des connaissances actuelles, la collision des chauves-souris avec des panneaux photovoltaïques n'est pas avérée, mais reste potentielle sur les plans d'eau. Aucune recherche n'a porté directement

sur l'incidence des installations photovoltaïques sur la mortalité des chauves-souris en condition naturelle. Ce sont des constatations liées à des expérimentations qui conduisent à une vigilance vis-à-vis de ce phénomène. Taylor *et al.* (2019) ont réalisé une synthèse bibliographique sur le sujet. Les chauves-souris confondent les panneaux lisses avec de l'eau. Lors d'une expérimentation, Greif & Siemers (2010) ont montré que des chauves-souris tentaient de boire dans les panneaux et se sont parfois heurtés à eux. Si les plaques étaient alignées verticalement, elles s'y écrasaient souvent en essayant de les traverser. Les chauves-souris juvéniles seraient les plus sujettes à ce type de comportement. De plus, certaines expériences qui ont été menées à la fois dans des niveaux de faible luminosité et dans l'obscurité totale ont montré une augmentation de 60 % des tentatives de d'abreuvement à partir de panneaux lisses dans l'obscurité totale. Greif & Siemers (2010) ont conclu que les chauves-souris intègrent les informations au niveau sensoriel lors de la formation d'une perception de leur environnement. Il faut souligner que certaines études pondèrent ces phénomènes et suggèrent que ces erreurs ne peuvent pas être commises avec des panneaux en conditions naturelles. Toutefois, l'ensemble de ces retours d'expérience incitent à rester vigilant vis-à-vis de cette problématique et les impacts potentiels doivent être pris en compte.

Un impact sur les amphibiens peut être également mis en avant pour des installations en bordure de plans d'eau et gravières. La pose de panneaux va impliquer un travail du sol (fondations, terrassement). De même, la pose de clôture va entraîner un impact potentiel sur les sols. Il y a donc un risque de mortalité pour les individus qui sont « gîtés » dans le sol (de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres). Cet effet concerne la période estivale mais aussi la période hivernale, donc quasiment toute l'année. Une étude en Grand Est a permis d'étudier le Crapaud vert (espèces faisant l'objet d'un plan d'action national) par le biais de la télémétrie et a confirmé le comportement d'enfouissement et donc la vulnérabilité de cette espèce vis-à-vis de ce type d'aménagement (Vacher JP & al., 2020 et Pithioud A. & al., 2021). D'autres espèces peuvent être plus particulièrement concernées : le Pélobate brun, le Calamite, le Pélodyte et l'Alyte.

## ► **Pollutions physiques, chimiques et lumineuses**

### - **Pollutions physiques**

Les travaux de terrassement lors de la construction occasionnent des émissions de poussières diffuses notamment par temps sec (MEDDAAT, 2009) avec :

- Effet sur la disponibilité en ressources alimentaires pour les chauves-souris par dépôt de poussière sur les feuillages et sur les insectes ;
- Réduction de la production primaire des plantes due aux dommages physiologiques et physiques induites par les émissions de poussières.

Cependant, ces nuisances sont limitées dans le temps et l'espace et peuvent être prévenues par des mesures courantes, comme l'arrosage des voies d'accès et du site (MEDDAAT, 2009).

Les activités de construction peuvent également détériorer temporairement la qualité des eaux souterraines et de surface entraînant une augmentation de la turbidité, de la charge sédimentaire et de l'eutrophisation des cours d'eau à proximité avec des répercussions sur les milieux aquatiques (Turney & Fthenakis, 2011).

### - **Pollutions physiques : le cas particulier des pollutions lumineuses**



Les sources de lumière polarisée peuvent devenir des pièges écologiques et entraîner un déclin ou un effondrement rapide des populations d'insectes (Jeal *et al.*, 2019 ; Horváth *et al.*, 2010) par :

- La déshydratation et l'échec de la reproduction de certaines espèces d'insectes (Horváth *et al.*, 2014),
- la mortalité des organismes qui utilisent ce type de lumière pour trouver notamment des sites de ponte. On peut citer quelques études qui montrent ce type d'atteintes :
  - ↳ Les éphémères, trichoptères, plécoptères, diptères dolichopodides et les taons (*Tabanidae*) étaient les plus attirés par les panneaux photovoltaïques et ont montré un comportement de ponte au-dessus des panneaux photovoltaïques plus souvent que sur les surfaces avec des degrés de polarisation plus faibles (y compris l'eau). (Kriska *et al.*, 1998)
  - ↳ De même, les insectes qui pondent des œufs dans l'eau sont particulièrement attirés par les panneaux photovoltaïques car ils utilisent la polarisation horizontale de la lumière des masses d'eau pour trouver des sites de ponte (Horváth *et al.*, 2010) : cela peut concerner les populations d'invertébrés aquatiques (par exemple des éphéméroptères (*Ephemeroptera*), taons (*Tabanidae*), moucheron non piqueurs

#### - **Pollutions chimiques**

Une grande quantité de dépoussiérants, de produits chimiques et d'eau sont généralement appliqués pour nettoyer les panneaux en phase d'exploitation et empêcher la production de poussière (Bukhary *et al.*, 2018 ; Pimentel Da Silva & Branco, 2018).

Ces produits peuvent entraîner en premier lieu une contamination des sols, mais également des eaux souterraines et de surface (Bukhary *et al.*, 2018 ; Pimentel Da Silva & Branco, 2018). Les produits chimiques utilisés sont très toxiques pour l'environnement et pourraient causer de nombreux impacts négatifs sur la faune et la flore à long terme (Pimentel Da Silva & Branco, 2018).

Par exemple, les surpresseurs utilisés pour nettoyer les panneaux constitués de sels, de lignine, d'additifs à base d'argile, de saumures, de polymères synthétiques et de sulfonate peuvent contaminer les eaux de surfaces et entraîner à court terme :

- la mortalité de poissons et d'autres animaux (amphibiens, invertébrés aquatiques...)
- la croissance d'algues qui induisent une réduction de l'oxygène dissous lors de leur mortalité et l'augmentation de la stratification de la colonne d'eau (Pimentel Da Silva & Branco, 2018).

Il est important de mettre en place une vigilance, voire des règles strictes sur les traitements antiparasitaires (exemple : ivermectine) et sur les autres résidus médicamenteux dans la mesure où un troupeau est utilisé pour la gestion de la strate herbacée du parc photovoltaïque (Beynon, 2012).

## ► **Modification du microclimat (conditions stationnelles) et captation de l'eau**

Les panneaux photovoltaïques projettent des ombres et modifient le microclimat local, l'albédo et la température du sol (Barron-Gafford *et al.*, 2016 ; Pimentel Da Silva & Branco, 2018 ; Turney & Fthenakis, 2011 ; Yang *et al.*, 2017). Les structures associées aux installations solaires photovoltaïques créent des ombres pluviales et solaires, ainsi que des zones avec un ruissellement d'eau (relativement) plus important (Cook & McCuen, 2013 ; Jeal *et al.*, 2019).

Pour les parcs flottants, des modifications physico-chimiques sont attendues ou s'avèrent potentielles sur tout ou partie du plan d'eau (température, baisse de luminosité et leurs conséquences sur le cycle de l'oxygène, de l'azote...). Aucune référence bibliographique n'a été trouvée sur ce sujet, mais il est à prendre en compte dans l'analyse des impacts d'un projet.

### - **Modification de la composition et de la structure du tapis végétal sous les panneaux**

La modification du microclimat et son effet sur les végétations seront variables en fonction de la hauteur sous panneaux et de leurs orientations.

Le microclimat sous panneau entraînera une perte de la biomasse végétale (Armstrong *et al.*, 2016), aura un impact potentiel sur la floraison des plantes et favorisera potentiellement une flore plutôt « sciaphile » ou rudérale. Tanner *et al.* (2014) montrent que l'effet des panneaux photovoltaïques créant des zones d'ombre et de concentration en eau peut être négatif si la flore sur la zone d'installation est héliophile (avec des besoins d'ensoleillement fort) et xérophile (adaptée à des milieux très pauvres en eau). La structure et la composition des cortèges floristiques sous panneaux vont donc être spécifiques. **A la vue des caractéristiques stationnelles, les surfaces sous panneaux ne pourront prétendre à servir de mesures de réduction à l'altération ou à la destruction d'habitats prairiaux ou pelousaires même avec une gestion jugée adaptée. Il sera toujours possible de retrouver quelques espèces typiques de ces habitats naturels, mais il sera impossible de retrouver le groupement végétal typique.**

Le peu de retours bibliographiques concernant les parcs flottants ne permet pas d'être affirmatif. Toutefois, il est probable que la modification du microclimat couplée à une perturbation du substrat va entraîner un changement des groupements de végétation aquatique. On risque d'assister à une évolution vers des groupements dystrophes, c'est à dire appauvris tant en diversité qu'en structure. Cette évolution aura un effet non négligeable sur la faune aquatique car la structuration des herbiers est tout aussi essentielle à ces espèces qu'est la forêt pour la faune terrestre.

### - **Modification de la composition des invertébrés**

Ces modifications des conditions environnementales influencent positivement et négativement les assemblages d'invertébrés par la création de nouveaux micro-habitats grâce à l'ombrage supplémentaire et la repousse de la végétation indigène, la fourniture de sites de perchage et de nidification supplémentaires (Visser *et al.*, 2019). Toutefois, une des guildes qui risque d'être impactée est celle des pollinisateurs car la disponibilité florale pourra être potentiellement moindre sous les panneaux.

Sur les plans d'eau, il est possible que l'impact soit négatif sous les panneaux pour les raisons qui ont été évoquées dans le paragraphe précédent.

## - Effet/impact sur l'eau

L'eau est nécessaire à différentes phases du cycle de vie des centrales photovoltaïques, de la construction au déclassement (Bukhary *et al.*, 2018 ; Sinha *et al.*, 2012). Pendant la phase de construction et d'exploitation, l'eau est principalement utilisée pour la suppression des poussières lors du nivellement du site (Sinha *et al.*, 2012) et peut entraîner une érosion des sols, une augmentation du ruissellement de surface (Turney & Fthenakis, 2011) et une baisse de la quantité d'eau disponible pour les écosystèmes.

## ► Synthèse sur la connaissance des impacts des CPV sur la biodiversité

Du fait de leur emprise au sol et sur l'eau, les centrales photovoltaïques au sol peuvent avoir un impact important sur les espaces naturels et la biodiversité. Même si la destruction n'est pas toujours effective, les habitats naturels risquent de perdre une part plus ou moins importante de leur fonction « support à la biodiversité ». Dans le cas où les habitats naturels concernés ont une résilience très faible vis-à-vis de la perturbation des sols (exemple des pelouses calcaires), ces fonctions impactées ne peuvent pas être réduites ni compensées.

Les centrales photovoltaïques terrestres et flottantes auront des impacts potentiels différents sur la biodiversité même si au vu des connaissances actuelles, ceux-ci restent difficiles à évaluer précisément. L'effet le plus difficile à apprécier est la conséquence de la modification du microclimat sous les panneaux sur les habitats, la faune et la flore. De ce fait, actuellement, il est important de respecter un principe de précaution et donc de ne pas intégrer ces surfaces sous panneaux comme faisant partie d'une mesure de réduction d'impacts sur la biodiversité associée aux milieux ouverts. Des études sont à engager afin d'obtenir des réponses concrètes dans le contexte Grand Est pour évaluer les possibilités de restauration des habitats naturels sous les panneaux.

En résumé, en l'état actuel des connaissances sur les projets flottants, on peut citer un certain nombre d'impacts comme l'échec de la reproduction des insectes aquatiques, des pollutions diffuses, une mortalité directe des oiseaux en pleine eau, un effet de concentration des oiseaux par report sur d'autres plans d'eau, une modification du microclimat sous les panneaux. Toutes ces incertitudes appellent à une extrême prudence vis-à-vis de l'implantation de ce type d'installation sur les plans d'eau et invitent donc à rester sur un principe de précaution en évitant de manière préventive les espaces naturels cités dans le principe n°2.

Pour avancer sur ce type de projets « flottants », il est donc nécessaire d'attendre les retours d'expérience sur certaines installations afin d'évaluer les impacts et les mesures qui permettent d'atteindre l'absence de perte nette de biodiversité. C'est l'objet notamment du principe n°4 donné ci-dessous

**Tableau 1 : Synthèse des impacts prévisibles et avérés par taxons**

Types d'impacts vs taxons	Perte et fragmentation des habitats naturels				Invasion EEE	Mortalité directe avec panneaux (collision) – Effet permanent	Pollutions			Modification du microclimat en phase d'exploitation sous panneau – Effet permanent
	Altération des sols lors de la phase travaux - effet permanent	Défrichement (perte de lieu de reproduction) – Effet permanent	Emprise des panneaux flottants (Perte d'habitats d'espèces & augmentation potentielle des zoonoses)	Rupture des continuités écologiques – Effet permanent			Pollutions physiques pendant phase travaux – effet temporaire	Pollutions lumineuses (phase d'exploitation) – Effet permanent	Pollutions chimiques (eau) – Effet permanent	
Oiseaux forestiers		X				X				
Oiseaux des milieux semi-ouverts		X				X				
Oiseaux aquatiques			X			X			X	X ?
Reptiles		X		X						
Mammifères non volants		X		X						
Chiroptères		X		X		X	X	X ?		
Amphibiens			X	X ?			X		X	X ?
Poissons			X ?				X		X	X ?
Invertébrés aquatiques			X				X	X	X	X ?
Invertébrés terrestres	X							X		X
Flore	X	X	X	X	X		X		X	X
Habitats naturels « sensibles » terrestres (cf. paragraphe effet sur végétations indigènes)	X	X			X					X
Habitats naturels « sensibles » aquatiques et amphibiens (cf. paragraphe effet sur végétations indigènes)			X		X					X

## Quelles sont les principes qui doivent guider un développement du photovoltaïque au sol respectueux de la biodiversité du territoire ?

Nous développerons uniquement les principes qui font le lien entre biodiversité et photovoltaïque. Même si d'autres enjeux importants existent comme la question des surfaces agricoles, ceux-ci ne concernent pas le champ de cette contribution.

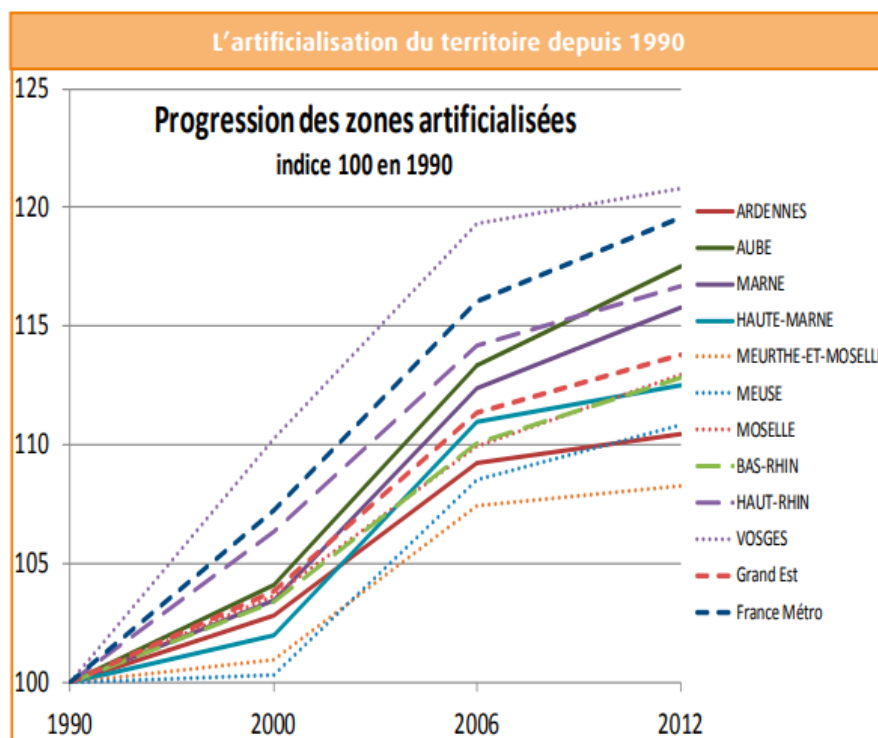
### ► Principe 1 : Développer le solaire-photovoltaïque en priorité dans les zones artificialisées et réduire significativement le développement des infrastructures d'appui (raccordement, voies d'accès)

L'artificialisation résulte de l'urbanisation et de l'expansion des infrastructures, sous l'influence de la dynamique démographique et du développement économique. Les surfaces artificialisées regroupent le bâti et les espaces verts associés, les zones industrielles et commerciales, les équipements sportifs ou de loisirs, les réseaux de transport, les parkings ou encore les mines, décharges et chantiers (source INSEE).

Selon les méthodes employées, entre 5,7 et 8,8% du territoire du Grand Est sont considérés comme étant artificialisés. Au sein de cette catégorie, ce sont **3 % des surfaces qui sont imperméabilisées**, ce qui correspond à une emprise d'un peu plus de **163 000 ha**.

De plus, il est constaté une progression importante de ces surfaces depuis les années 2000.

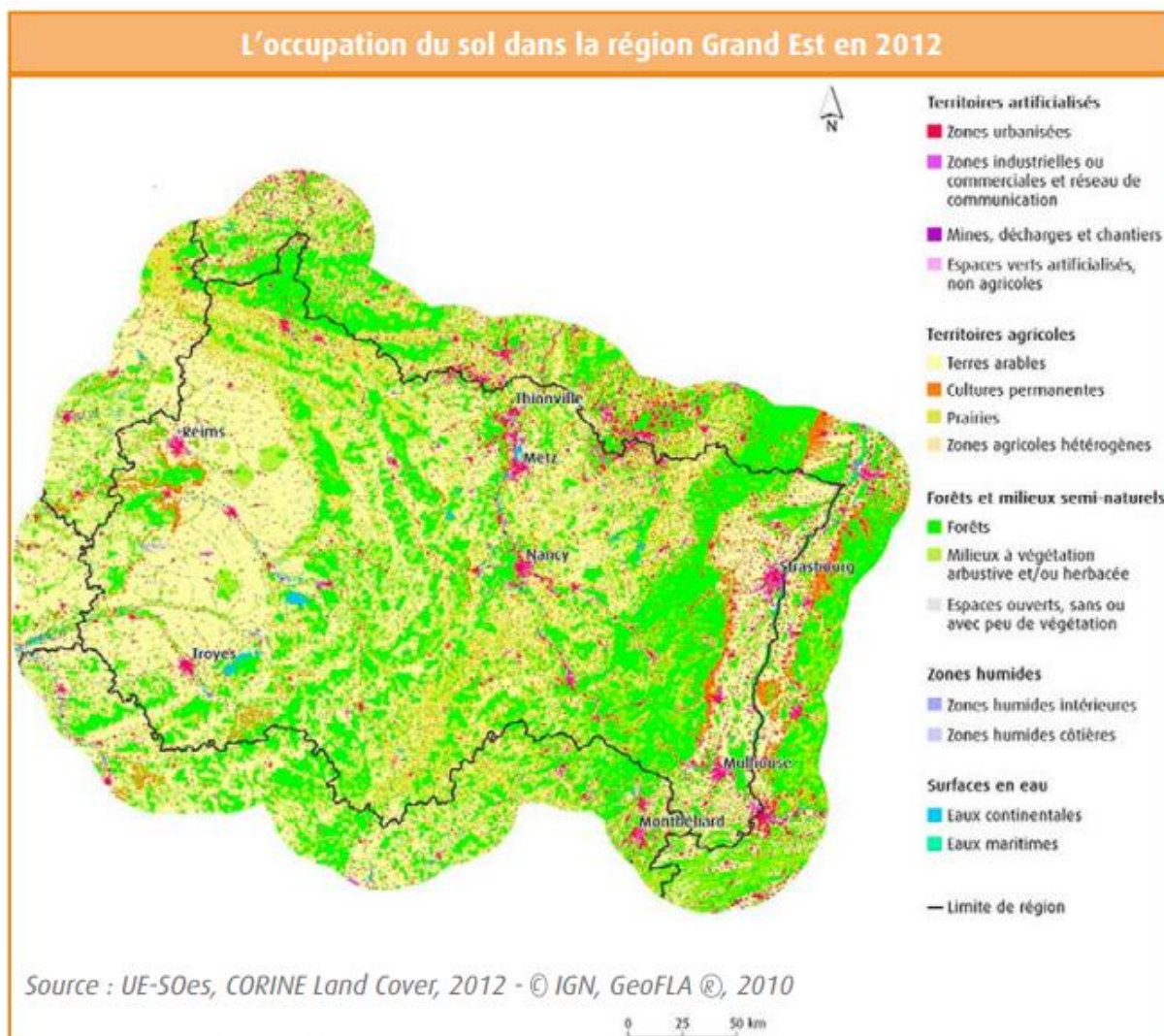
*Source : DREAL, 2017. L'observation de l'occupation du sol en Grand Est. N°1, mai 2017*



Source : CORINE Land Cover

Considérant les surfaces en jeu, la principale recommandation du CSRPN est que l'ensemble du développement du solaire soit orienté vers les surfaces artificialisées et plus particulièrement vers les surfaces déjà imperméabilisées. Pour rappel, les besoins en termes d'emprise au sol pour les projets photovoltaïques sur les 10 prochaines années (objectif SRADDET) sont de 1 600 à 2 400 ha, ceci alors que les surfaces imperméabilisées recouvrent pas moins de 163 000 ha.

D'ailleurs, ces zones artificialisées correspondent en général aux territoires les plus urbanisés, là où la demande d'énergie est également la plus forte.



► **Principe 2 : Mettre en place des zones d'exclusions systématiques pour les espaces naturels à forte valeur écologique ou servant de puits de carbone**

En préambule, les conditions d'implantation de centrales au sol définies par la Commission de régulation de l'énergie (CRE) dans son dernier appel d'offre\* ne sont pas une garantie, loin s'en faut, pour éviter en amont la destruction ou l'altération des espaces naturels à forte valeur écologique.

Le porteur de projet doit respecter une des trois conditions d'implantation pour que le projet soit éligible. Par exemple, les zones humides sont citées comme motif de non-éligibilité dans une des conditions, mais finalement si le porteur de projet remplit une des deux autres conditions, il est alors possible que des zones humides soient présentes dans la zone d'implantation d'un projet. La 3<sup>ème</sup> condition concerne l'implantation possible sur des sites dits « dégradés ». Ce caractère dégradé peut être considéré au sens économique, mais non au sens écologique. La nature des sites dégradés dans le document sont précisément pour la plupart des sites qui peuvent être favorables à l'implantation d'une certaine biodiversité. On y retrouve des friches industrielles, des anciennes carrières, des anciens aérodromes, des plans d'eau ou des sites militaires faisant l'objet d'une pollution pyrotechnique. L'ensemble de ces milieux naturels peut accueillir une faune ou une flore menacée s'étant installée post activité industrielle ou militaire. Pour exemple, les sites militaires ou anciens sites militaires représentent à l'heure actuelle des hauts lieux de la biodiversité en Grand Est avec notamment la présence de pelouses sèches. Le programme LIFE Natur'Army piloté par l'Armée, en cours, a précisément été lancé afin de préserver ce patrimoine. On remarque donc que cette 3<sup>ème</sup> condition ne permet pas d'exclure des espaces naturels à haute valeur écologique. L'évaluation environnementale a donc toute son importance pour évaluer les enjeux écologiques d'un site.

-----  
\* *Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire « Centrales au sol », publié le 15 juin 2021*

**Nous partons du principe qu'aucune mesure de réduction ou de compensation sur les espaces naturels cités ci-dessous ne peut permettre à un projet de centrale solaire/photovoltaïque de viser l'absence de perte nette de biodiversité, voire même un gain de biodiversité tel que la loi de reconquête de la biodiversité l'énonce.** De plus, une partie de ces espaces naturels sont considérés comme d'importants puits de carbone. L'altération des sols et des structures végétales en place peut altérer significativement ce service écosystémique de séquestration du carbone, qui demande des décennies voire des siècles pour s'avérer « optimal ». Fort de ce constat, la Région a lancé un programme ambitieux sur la problématique de la séquestration du carbone en forêt et en prairie dans le cadre du programme LIFE Biodiv'Est. En conclusion, la seule mesure viable est donc impérativement d'éviter ces espaces naturels.

A la vue des atteintes prévisibles et avérées inhérent à l'implantation d'une centrale photovoltaïque, trois catégories d'espaces naturels ont été identifiés comme devant être préservés de toute installation :

- Les espaces naturels qui présentent des fonctions majeures en termes de protection de la biodiversité et de puits de carbone (participant à la lutte contre le changement climatique) sont à exclure :
  - ↳ Zones humides (selon le critère de la végétation inclus dans la loi sur l'eau)
  - ↳ Espaces forestiers
  
- Les espaces naturels qui représentent des lieux à haute valeur écologique et ayant une très faible capacité de résilience à la suite de l'altération des sols :
  - ↳ Prairies permanentes « anciennes » (orthophotographies des années 1950)
  - ↳ Pelouses sèches
  - ↳ Landes
  - ↳ Végétations d'éboulis et de dalles rocheuses

- Les espaces naturels faisant l'objet d'un classement régional ou national qui les identifie comme étant des réservoirs ou des trames importantes pour la préservation de la biodiversité :
  - ↳ Zones de protection forte : catégories envisagées dans le cadre de la Stratégie nationale pour les Aires Protégées (2030)
  - ↳ ZNIEFF de type 1
  - ↳ Sites Natura 2000
- Les plans d'eau intégrés dans des périmètres RAMSAR qui, pour rappel, sont définis pour partie comme étant des zones humides d'importance internationale pour les oiseaux d'eau. L'impact prévisible important des parcs flottants sur les populations d'oiseaux et le peu de retour scientifique demandent un principe de précaution pour ces zonages d'intérêt écologique fort.

Même si une liste d'espaces naturels est proposée comme étant à exclure de toutes installations photovoltaïques de manière préventive, il va de soi qu'une étude d'impact « sérieuse » reste à réaliser pour les autres territoires non concernés, avec une vigilance particulière pour toutes les surfaces considérées comme des aires protégées en France, notamment les PNR et les réserves de biosphère.

### ► **Principe 3 : Appliquer le principe de précaution pour les espèces protégées et s'appuyer sur le CSRPN pour une prise de décision éclairée lors de l'émission des avis des services instructeurs.**

Le principe de précaution est une disposition consacrée lors du sommet de Rio de 1992. Rapidement, il fut inscrit dans le droit français par la loi Barnier du 2 février 1995. Cette dernière expose que l'absence de certitudes en raison du manque de connaissances techniques et scientifiques à un moment donné doit toutefois conduire à prendre des mesures de gestion de risques appropriées à l'égard de dommages potentiels à l'environnement et sur la santé.

Actuellement, la connaissance des impacts des installations photovoltaïques sur la faune, la flore et les habitats naturels reste encore incomplète. Par principe de précaution, un dossier de demande de dérogation au CSRPN ou CNPN doit être déposé dès qu'une espèce protégée est concernée par un impact prévisible ou avéré (cf. tableau 1). Même si le pétitionnaire propose en amont des mesures d'atténuation, la seule modification d'un habitat d'espèces doit conduire les services instructeurs de l'État à demander la mise en place d'une procédure dérogatoire. Ce principe de précaution est notamment en lien avec la connaissance qui est encore incomplète sur cette problématique et donc le besoin que ces dossiers soient évalués par des comités d'expert.

Passer par un dossier de dérogation est le seul moyen de cadrer l'installation et le bon déroulé de ce type de projets. De plus, pour les projets acceptés, le cadrage réglementaire des suivis scientifiques permet l'amélioration de la connaissance sur les impacts avérés ainsi que l'évaluation de l'efficacité des mesures. Ceci permet donc d'établir un lien avec le principe n°4 défini par le CSRPN. Enfin, ce cadre permet également au pétitionnaire d'éviter tout recours si une destruction accidentelle ou une capture d'espèces protégées devaient être avérées, tout en restant conformes au dossier proposé.



Pour cela, il est nécessaire d'améliorer le fonctionnement entre les services instructeurs et le CSRPN afin de prendre une décision éclairée et rapide lors de l'émission des avis. Ainsi, si un projet soumis aux DDT, à la MRAE ou à la DREAL ne respecte pas le principe n°2, il nous paraît nécessaire que le CSRPN soit sollicité le plus tôt possible. L'objectif est de pouvoir contribuer à l'analyse du projet effectuée par les services instructeurs et donc de pouvoir réagir bien en amont de l'enquête publique. De même, si un doute subsiste sur les impacts résiduels concernant une espèce protégée, le CSRPN se tiendra à la disposition des services instructeurs. Cet accompagnement pourra aller jusqu'à la mise en place d'une doctrine spécifique si le sujet devient récurrent.

Dans le cas où un pétitionnaire venait à refuser une demande de dérogation en estimant que les séquences « Eviter et Réduire » proposées sont suffisantes et qu'il n'y a pas besoin de compensation, il est demandé que les services instructeurs tiennent informé le CSRPN. En fonction du contexte et des impacts résiduels, le CSRPN n'hésitera pas, comme son règlement intérieur le lui permet, de s'autosaisir d'un tel dossier.

### ► **Principe 4 : Améliorer la connaissance des impacts sur la biodiversité des technologies actuelles et proposer le cas échéant des solutions alternatives moins impactantes**

Le développement du photovoltaïque étant récent, les réseaux scientifiques et naturalistes ne disposent pas d'un recul suffisant sur le moyen et long terme. La connaissance actuelle demeure donc lacunaire et suscite encore des interrogations sur les pressions et impacts qu'engendrent ce type de projet sur la biodiversité à **moyen et long terme**.

Il est donc important que l'installation de centrales solaires soit systématiquement accompagnée de suivis scientifiques (mesures d'accompagnement) notamment lorsque des espèces ou des habitats patrimoniaux ou menacés ont été identifiés. On entend par « patrimoniaux », les taxons inscrits sur une liste rouge, un arrêté de protection, une liste déterminante ZNIEFF, à l'annexe I ou II de la Directive « faune-flore-habitats » ou à l'annexe I de la Directive « Oiseaux ».

Si une dérogation « espèces protégées » ne les a pas déjà cadrés en amont, les groupes taxonomiques à suivre seront à valider en lien avec le CSRPN. L'objectif est de pouvoir répondre aux problématiques spécifiques d'un projet, mais également de répondre aux lacunes de connaissances identifiées au niveau régional.

Les protocoles de suivis scientifiques mesurant un impact devront autant que possible respecter le principe du « BACI » (Before-After Control Impact).

### ► **Principe 5 : S'assurer que les impacts sur les sols et la biodiversité soient les plus faibles possibles lors de la remise en état des sites**

Actuellement, la phase de démantèlement est étudiée lors de l'étude d'impacts initiale. Il n'y a pas de nouvelle autorisation et donc pas de nouvelle étude d'impacts au moment du démantèlement effectif. Après 15 ou 20 ans d'exploitation, le contexte environnemental, les milieux et la biodiversité qui y sont accueillis ont donc évolué naturellement, mais également par le biais des mesures de réduction et de compensation qui auraient pu être mises en place sur le site.

Pour ne pas perdre ce gain possible en termes de biodiversité, il nous paraît indispensable que, lors de la remise en état du site, une actualisation systématique de l'étude d'impacts soit réalisée. Cette actualisation permettrait également de valoriser les suivis scientifiques réalisés au cours de la période d'exploitation. Ces retours d'expériences donneront la possibilité d'évaluer les impacts sur le moyen/long terme de ce type d'installation mais aussi de juger de l'efficacité des mesures prises.

## Conclusion

La présente analyse montre qu'il existe dès à présent au niveau international de nombreux travaux scientifiques qui mettent en avant les risques potentiels que font courir à la biodiversité la multiplication des installations photovoltaïques terrestres et identifient les impacts avérés de ce type d'ENR fortement consommateur d'espace. Ces éléments de connaissance doivent cependant être complétés, en particulier en ce qui concerne le photovoltaïque flottant, une technique dont le développement est récent et vis-à-vis duquel les retours d'experts restent rares.

Il est important de situer cette réflexion dans une perspective à moyen et long terme et au regard de la multiplication attendue des surfaces dédiées à ce type d'ENR. Les processus écologiques s'inscrivent dans la durée et peuvent faire l'objet de phénomènes de seuil (points de basculement), notamment en réponse à des pressions d'ampleur croissante. La complexité de ces processus justifie la réalisation d'études d'impact aussi pertinentes que possibles.

Le CSRPN du Grand Est, qui émet ici plusieurs principes et recommandations qu'il considère d'ores et déjà essentiels pour que le développement du photovoltaïque ne soit pas en opposition avec la préservation de la biodiversité, souhaite donc, en lien avec les services de l'État, pouvoir accompagner avec vigilance, expertise et rigueur scientifique le développement attendu du photovoltaïque terrestre et flottant dans la région.

Le CSRPN, conscient de l'importance que revêt la transition énergétique, mais soucieux des enjeux de biodiversité, se penchera aussi sur les pressions associées aux autres ENR en cours de développement dans le Grand Est.

Fait le 07 /04 / 2022

Le président du CSRPN



Serge Muller

**Groupe de travail CSRPN :** Bécu David (rapporteur), Bellenoue Stéphane, Brouillard Yohann, Fauvel Bruno, Gaillard Matthieu, Godé Laurent, Guérolde François, Monchatre-Leroy Elodie, Muller Yves, Salvi Alain, Silvain Jean François, Trémolières Michèle.

## Bibliographie

- Armstrong, A., N.J. Ostle, et J. Whitaker. (2016) « *Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling* ». *Environmental Research Letters* 11
- Beynon, S. A. (2012). "Potential environmental consequences of administration of ectoparasiticides to sheep." *Veterinary Parasitology* 189 (1): 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.041>.
- Bukhary, S., Ahmad, S., & Batista, J. (2018). *Analyzing land and water requirements for solar deployment in the Southwestern United States*. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 82, 3288-3305. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.016>
- Calidris (2019). *Photovoltaïque et biodiversité ; Etude bibliographique et Retours d'expériences*. 23
- Cameron, D. R., Cohen, B. S., & Morrison, S. A. (2012). *An Approach to Enhance the Conservation Compatibility of Solar Energy Development*. *PLOS ONE*, 7(6), e38437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038437>
- De Marco, A., Petrosillo, I., Semeraro, T., Pasimeni, M. R., Aretano, R., & Zurlini, G. (2014). *The contribution of Utility-Scale Solar Energy to the global climate regulation and its effects on local ecosystem services*. *Global Ecology and Conservation*, 2, 324-337. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.10.010>
- DeVault, T. L., Seamans, T. W., Schmidt, J. A., Belant, J. L., Blackwell, B. F., Mooers, N., Tyson, L. A., & Van Pelt, L. (2014). *Bird use of solar photovoltaic installations at US airports : Implications for aviation safety*. *Landscape and Urban Planning*, 122, 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.017>
- Greif S & Siemers BM. (2010). *Innate recognition of water bodies in echolocating bats*. *Nature Communications*, 2 (1): 107.
- Hernandez, R. R., Hoffacker, M. K., Murphy-Mariscal, M. L., Wu, G. C., & Allen, M. F. (2015). *Solar energy development impacts on land cover change and protected areas*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(44), 13579-13584. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517656112>
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, Á., Kriska, G., Seres, I., & Robertson, B. (2010). *Reducing the Maladaptive Attractiveness of Solar Panels to Polarotactic Insects : Polarized Light Pollution from Solar Panels*. *Conservation Biology*, 24(6), 1644-1653. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x>
- Jeal, C., Perold, V., Seymour, C. L., Ralston-Paton, S., & Ryan, P. G. (2019). *Utility-scale solar energy facilities – Effects on invertebrates in an arid environment*. *Journal of Arid Environments*, 168, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.05.008>
- Johnson Pieter T. J. et PAULL Sara H. (2011). *The ecology and emergence of diseases in fresh waters*. *Freshwater Biology* (2011) 56, 638–657. doi:10.1111/j.1365-2427.2010.02546.x
- MEDDAAT. (2009). *Guide sur la prise en compte de l'environnement dans les installations photovoltaïques au sol*
- Pimentel Da Silva, G. D., & Branco, D. A. C. (2018). *Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic ? Assessing environmental impacts*. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 36(5), 390-400. <https://doi.org/10.1080/14615517.2018.1477498>
- Pithioud, Anna & Pichenot, Julian & Pinto, Laura & Collon, Sylvain & Busson, Emilie & Erbrech, Michel & Douay-Bertrand, Cécile & Clément, Vincent & Gosselin, Fanny & Alain, Morand. (2021). *Sélection*

de l'habitat terrestre chez le Crapaud vert (*Bufo viridis*) par suivi radio-téléométrique en période post-nuptiale.

Tanner, K.E., K.A. Moore et B.M. Pavlik. (2014). « *Measuring impacts of solar development on desert plants* ». *Fremontia* 42, no 2: 15-16.

Taylor, R., Conway, J., Gabb, O. & Gillespie, J. (2019). *Potential ecological impacts of ground-mounted photovoltaic solar panels*. [Online] Accessed:

Tillon L. (2015). *Utilisation des gîtes et des terrains de chasse par les chiroptères forestiers, propositions de gestion conservatoire*. Biodiversité et Ecologie. Université Paul Sabatier - Toulouse III, Français. ffNNT : 2015TOU30384f

Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). *Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 3261-3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>

Vacher, Jean-Pierre & Pichenot, Julian & Alain, Morand. (2020). Bilan des études existantes sur l'habitat terrestre et la dispersion du Crapaud vert --- De l'analyse des lacunes à une perspective d'acquisition de connaissances utiles à l'application de la séquence ERC dans le Grand Est.

Vandegrift, KJ, Sokolow, SH, Daszak, P. et Kilpatrick, AM (2010). *Ecologie des virus de l'influenza aviaire dans un monde en mutation*. *Annales de l'Académie des sciences de New York*, 1195, 113–128. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05451.x>