



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE



CLÉS POUR AGIR

PHOTOVOLTAÏQUE, SOL ET BIODIVERSITÉ

Enjeux et bonnes pratiques

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Thomas Eglin, Direction Bioéconomie
et Énergies Renouvelables

Coordination éditoriale : Véronique Dalmasso, Service Mobilisation
des Professionnels

Rédacteurs : L'agence Mars

Crédits photos : Shutterstock

Illustration et conception : L'agence Mars

Impression : Imprimé en France - Imprimerie SPOT, Imprim'vert, Marseille

Brochure réf. 011867

ISBN : 979-1-02971-000-1 - Mars 2023 - 500 exemplaires

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, mars 2023

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

L'objectif de neutralité carbone visé en 2050 et le besoin de renforcer notre indépendance énergétique nécessitent l'accélération forte des dynamiques actuelles de sobriété, d'efficacité énergétique et de développement des énergies renouvelables.

En France, l'électrification croissante de nos usages (transport, chauffage, procédés industriels) constitue un levier incontournable de décarbonation de la société, qui va générer une augmentation des besoins de production d'électricité renouvelable. Sur l'ensemble de son cycle de vie, une centrale solaire photovoltaïque installée aujourd'hui en France métropolitaine émettra en moyenne entre 23 et 43 g de CO₂ équivalent par kWh produit, selon qu'elle soit dans le Sud ou dans le Nord de la France. Elle ne générera ni déchets ni polluants atmosphériques durant son exploitation. Dans ce contexte, la filière photovoltaïque qui représente aujourd'hui environ 3 % de notre production d'électricité, va devenir un pilier essentiel de la production électrique en France. Il faut donc sans attendre en accélérer le déploiement, sur les toitures, mais aussi au sol.

Lorsqu'elles sont implantées sur des milieux naturels, les centrales photovoltaïques peuvent avoir des incidences négatives significatives sur la biodiversité et les sols en modifiant les conditions d'accueil de la flore et de la faune sauvage et leurs corridors de migration.

Le bilan "gaz à effet de serre" peut également être dégradé si des milieux naturels riches en carbone sont affectés (cas des zones humides, des forêts). Ces incidences et les moyens de les éviter (E), de les réduire (R) ou à défaut de les compenser (C) sont de mieux en mieux connus. Ceux-ci peuvent d'ores et déjà être pris en compte lors des phases de planification, de conception et d'exploitation des centrales.

Fruit d'un partenariat entre l'ADEME et l'OFB, ce document dresse un état des connaissances des incidences et propose des solutions visant à y remédier. Des retours d'expérience illustrent leur mise en œuvre concrète à l'échelle de différents projets, sans en occulter les difficultés. Réalisé avec la contribution d'acteurs concernés par le développement de ces projets (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires ; DREAL ; CEREMA ; Syndicats professionnels SER et Enerplan ; Organisations Non Gouvernementales en charge de la protection de l'environnement, dont la LPO, FNE, UICN ; Muséum National d'Histoire Naturelle), il ambitionne de fournir une base commune et partagée des enjeux d'écoconception des centrales solaires photovoltaïques. Il sera complété à partir de 2023 de guides techniques opérationnels à destination des professionnels, dont le premier concernera l'installation des clôtures des parcs.

David Marchal, Directeur exécutif adjoint de l'expertise et des programmes, ADEME

Christophe Aubel, Directeur général délégué "Mobilisation de la société", OFB

04

CLIMAT ET
BIODIVERSITÉ :
LE DÉFI DU SIÈCLE

06

DÉVELOPPEMENT
DU PHOTOVOLTAÏQUE :
DES OBJECTIFS AMBITIEUX

08

LA DÉMARCHE ERC :
DE LA PLANIFICATION
TERRITORIALE
À LA CONCEPTION
DES PROJETS

12

INCIDENCES
POTENTIELLES
ET...

20

... BONNES
PRATIQUES
ERC

36

PERSPECTIVES

38

BIBLIOGRAPHIE

CLIMAT ET BIODIVERSITÉ

LE DÉFI DU SIÈCLE

L'humanité doit faire face à deux phénomènes brutaux et simultanés : un changement climatique provoqué par les émissions de gaz à effet de serre (GES) et une extinction massive d'espèces liée à la destruction de nombreux écosystèmes. Deux crises globales qui sont "intimement liées" selon les experts du climat (GIEC)⁽¹⁾ et de la biodiversité (IPBES)⁽²⁾.

Toutes deux causées par les activités humaines, elles s'influencent mutuellement, souvent en se renforçant. Par exemple, la dégradation des stocks et des puits de carbone naturels (tourbières, zones humides, forêts, herbiers marins, etc.) menace de libérer dans l'atmosphère de grandes quantités de GES, et donc d'aggraver la crise climatique. Il faut donc penser ensemble et mener de pair les luttes contre le dérèglement climatique et l'effondrement de la biodiversité.

⁽¹⁾ GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

⁽²⁾ IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services / Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

1,1 °C



Depuis 1850, notre planète s'est déjà réchauffée de 1,1 °C.

Selon l'IPBES, la part des espèces terrestres menacées d'extinction par le changement climatique serait de 5 % à 2 °C et de 16 % à 4,3 °C de réchauffement.

CHIFFRES CLÉS

AU COURS DES 150 DERNIÈRES ANNÉES, LES ACTIVITÉS HUMAINES

ONT PROVOQUÉ LA Perte de

83%

DE LA BIOMASSE ANIMALE SAUVAGE

et de 42%

DE CELLE DES VÉGÉTAUX.

LA PRODUCTION DE GES (CO₂, MÉTHANE, ETC.) résulte à

70% DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIES FOSSILES

CHARBON
PÉTROLE
GAZ

Les terres et les océans absorbent près de

50% du CO₂ provenant des émissions humaines.

Sur un total estimé à 8 MILLIONS

1 MILLION D'ESPÈCES seraient menacés d'extinction

Pour les scientifiques, nous vivons la 6^e extinction de masse de l'histoire de notre planète.

CLIMAT ET BIODIVERSITÉ : DES ACTIONS EN COMMUN

1

L'ATTÉNUATION

DÉCARBONER L'ÉCONOMIE

- Consommer moins : sobriété
- Économiser les ressources : recyclage et efficacité énergétique
- Développer un mix énergétique décarboné à moindres impacts : dont déploiement des énergies renouvelables

RECARBONER LES ÉCOSYSTÈMES NATURELS (puits de carbone)

- Préserver et restaurer les écosystèmes
- Développer l'agroécologie et la gestion durable des forêts

2

L'ADAPTATION

PRÉSERVER ET RESTAURER LE FONCTIONNEMENT NATUREL DES ÉCOSYSTÈMES, et leur résilience

DÉVELOPPER LES SOLUTIONS D'ADAPTATION FONDÉES SUR LA NATURE (SAFN) pour le bien-être humain et un gain net de biodiversité

Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050

En France, la loi énergie-climat de 2019 a inscrit l'objectif de neutralité carbone en 2050 et de réduction de 40 % de la consommation d'énergies fossiles d'ici 2030 par rapport à 2012. La **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)** donne la feuille de route pour atteindre la neutralité carbone et la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) fixe la trajectoire énergétique.

Stopper l'érosion de la biodiversité : un enjeu majeur

La biodiversité, c'est la variété de la vie sur terre sous toutes ses formes (gènes, espèces, écosystèmes). Son déclin constitue un enjeu majeur, car il menace notamment des services essentiels que nous rend la nature : régulation des cycles du carbone et de l'eau (et donc atténuation et adaptation au changement climatique), pollinisation des cultures et maintien de la fertilité des sols (et donc sécurisation de la production alimentaire)... Au niveau global, les changements dans l'utilisation des terres (intensification de l'agriculture, déforestation, urbanisation et infrastructures industrielles), l'exploitation des ressources naturelles (surpêche, extraction, etc.), le changement climatique et les pollutions en sont les principales causes.



Chicorée sauvage (*Cichorium intybus*)

Accélérer le développement des énergies renouvelables

Avec une plus grande sobriété et une meilleure efficacité dans nos usages énergétiques, le déploiement des énergies renouvelables (EnR) est l'un des moyens majeurs pour atteindre la neutralité carbone. C'est aussi une solution pour garantir notre approvisionnement en énergie et réduire notre dépendance aux importations. La loi a fixé l'objectif de porter d'ici 2030 la part des EnR à 40 % de la production électrique. À l'horizon 2050, les scénarios de RTE⁽³⁾, de l'ADEME⁽⁴⁾ et de négaWatt⁽⁵⁾ prévoient que les EnR assureront, selon la part du nucléaire, entre 50 et 100 % de la production d'électricité. En 30 ans, la puissance solaire photovoltaïque installée devra donc être multipliée au moins par 7 et la puissance éolienne (terrestre et en mer) par 4.

⁽³⁾ RTE, 2021, Futurs énergétiques

⁽⁴⁾ ADEME, 2022, Transition(s) 2050

⁽⁵⁾ négaWatt, 2022, Scénario négaWatt 2022

Les projets EnR pouvant avoir des incidences sur la biodiversité, leur indispensable développement devra être réalisé en respectant l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité inscrit au code de l'environnement (cf. article L.110-1 et L.163-1).

PROTECTION STRICTE DES ESPÈCES ET ZÉRO PERTE NETTE DE BIODIVERSITÉ

Le code de l'environnement prévoit un système de protection stricte des espèces de faune et de flore sauvages dont les listes sont fixées par arrêté ministériel. L'objectif est de maintenir voire de rétablir ces espèces dans un état de conservation favorable. La réglementation peut interdire la destruction, la dégradation et l'altération des habitats de ces espèces.

La Loi pour la reconquête de la biodiversité (2016) renforce l'objectif d'absence de perte nette de biodiversité. La Stratégie nationale pour les aires protégées 2030 prévoit de déployer des aires protégées sur 30 % du territoire national, dont 10 % de protection forte.



Lézard ocellé (*Timon lepidus*)

DÉVELOPPEMENT DU PHOTOVOLTAÏQUE

DES OBJECTIFS AMBITIEUX

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est amenée à jouer un rôle majeur dans la transition énergétique en cours en France et dans le monde, du fait des faibles émissions de CO₂ liées à la production des modules, de sa rapidité de déploiement et de ses coûts en constante diminution.

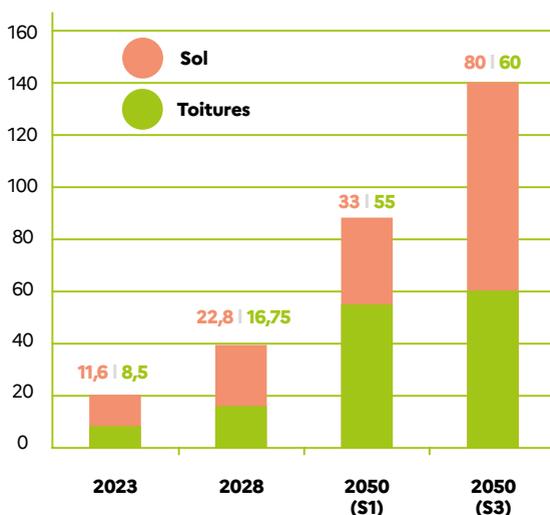
La puissance installée en France atteint environ 15,8 GW au 3^e trimestre 2022. Les objectifs de la PPE (programmation pluriannuelle de l'énergie) pour 2028 sont compris entre 35 et 44 GW. Et quels que soient les scénarios retenus pour atteindre la neutralité carbone en 2050, le PV devra connaître un essor massif. Pour RTE, la puissance installée serait alors de 70 GW à 208 GW selon la part du nucléaire, et pour l'ADEME, le PV atteindrait entre 92 et 144 GW, pour une surface mobilisée comprise entre 60 000 et 130 000 ha.

L'installation sur toiture doit être privilégiée au regard de ses impacts environnementaux très limités. La loi Climat et Résilience, impose ainsi l'intégration du PV ou la végétalisation aux toitures des bâtiments neufs de plus de 1 000 m². La réalisation d'installations au sol reste néanmoins nécessaire pour répondre aux objectifs et assurer un développement rapide de la filière. À condition que ces projets respectent les milieux aquatiques et humides, les sols, la biodiversité, les terres agricoles et forestières, en privilégiant l'utilisation de surfaces déjà artificialisées ou à faibles enjeux écologiques (parkings,

friches industrielles et commerciales, sites pollués, etc.). La loi relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables prévoit ainsi que les parkings extérieurs de plus de 1 500 m² soient équipés d'ombrières PV sur au moins la moitié de leur surface.

LES OBJECTIFS DE LA PPE POUR LE PHOTOVOLTAÏQUE

Projection de la capacité installée (en GW) pour le photovoltaïque au sol et en toitures selon la PPE (2023 et 2028) et deux scénarios de transition de l'ADEME (2050)



Les scénarios S1 ("génération frugale") et S3 ("technologies vertes") sont deux des quatre scénarios "Transitions 2050" imaginés par l'ADEME pour atteindre la neutralité carbone. Le scénario S1 mise sur la sobriété, tandis que le scénario 3 mise sur le développement technologique, car le niveau et le type de déploiement (en toitures ou au sol) dépendent aussi de choix de société.

Pour l'objectif de la PPE en 2028 (14,5 à 19 GW pour les toitures et 20,6 à 25 GW pour le PV au sol), des chiffres médians ont été retenus pour ce tableau.

Pour en savoir plus :
transitions2050.ademe.fr

Un cadre réglementaire strict

La réalisation d'installations PV au sol s'inscrit dans un cadre réglementaire assez strict. Selon les projets (caractéristiques et lieux d'implantation), elle implique plusieurs autorisations, au titre du code de l'urbanisme et du droit du sol (préservation des espaces agricoles, naturels ou forestiers), du code de l'environnement (protection stricte des espèces, sites Natura 2000, loi sur l'eau), du code forestier dont l'obligation légale de débroussaillage (OLD), et du droit de l'électricité.

Le décret n° 2022-970 du 1^{er} juillet 2022 prévoit que les installations de puissance égale ou supérieure à 1 Mwc soient soumises à l'obligation de réaliser une évaluation environnementale systématique, et à un examen au cas par cas pour celles dont la puissance est supérieure ou égale à 300 kWc. Le seuil de soumission à permis de construire est aligné sur le seuil de 1 Mwc. L'étude d'impact, comprise dans l'évaluation environnementale, fait l'objet d'un avis circonstancié de l'autorité environnementale (missions régionales d'autorité environnementale), qui analyse la pertinence des mesures d'évitement, de réduction et de compensation (ERC) des impacts.

DOCUMENTS GUIDES

- Le ministère de la Transition écologique a publié un guide⁽¹⁾ qui précise chacune des étapes et des exigences de la procédure d'autorisation.
- Le Photoscope⁽²⁾ de France Nature Environnement (FNE) précise également le cadre réglementaire et les différentes étapes d'un projet PV au sol, et fournit un outil d'analyse des projets permettant le dialogue entre associations et développeurs.

⁽¹⁾ "Guide relatif à l'instruction des demandes d'autorisations d'urbanisme pour les centrales solaires au sol", 2020

⁽²⁾ "Photovoltaïque au sol : enjeux, impacts et réglementation", janvier 2022

Le saviez-vous ?

Une demande de dérogation à l'interdiction de destruction des espèces protégées doit être effectuée lorsqu'une centrale PV est susceptible de porter atteinte à des espèces végétales ou animales protégées.

• Les conditions de déclenchement de la dérogation

- Soit le projet risque de porter atteinte à un ou plusieurs individus d'une espèce protégée ;
- Soit le projet porte atteinte aux aires de repos et aux sites de reproduction d'une espèce dont les habitats sont protégés.

• Les 3 conditions (cumulatives) d'octroi de la dérogation

- L'intérêt du projet doit répondre à une raison impérative d'intérêt public majeur (RIIPM) ;
- L'absence de solutions alternatives de moindre impact pour la réalisation du projet ;
- Le maintien en bon état de conservation des populations d'espèces protégées.



Alouette lulu (*Lullula arborea*)

LA DÉMARCHE ERC

DE LA PLANIFICATION TERRITORIALE À LA CONCEPTION DES PROJETS



Les centrales photovoltaïques au sol impliquent l'installation d'infrastructures et l'aménagement de parcelles. Leur implantation, leur gestion en fonctionnement, leur renouvellement et leur démantèlement peuvent avoir des impacts significatifs sur les milieux naturels et la biodiversité. Il importe donc de veiller à la conception de projets respectant l'objectif de "zéro perte nette de biodiversité". Et ce, y compris dans les documents de planification territoriale, où le positionnement de l'implantation doit déjà être réfléchi. Que ce soit dans la planification ou dans le projet, l'évaluation environnementale, quand elle doit être menée, constitue un processus d'aide à la décision à mettre en place dès le début de la démarche.

ILLUSTRATION DU PRINCIPE ITÉRATIF DE LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE



Source : CGDD, 2015 - Préconisations relatives à l'évaluation environnementale stratégique, note méthodologique. Collection Références

L'importance de la planification territoriale

Une démarche de planification vise à assurer le meilleur choix du foncier à utiliser en identifiant des zones à moindre impact écologique, pour la mise en œuvre du projet territorial porté par la collectivité responsable. La planification territoriale a également pour objectif de mettre en œuvre les premières mesures du "zéro artificialisation nette" (ZAN) ou encore d'assurer la cohérence des éventuelles mesures de compensation environnementale à l'échelle du territoire. Elle est donc l'occasion de développer avec les parties prenantes une vision commune des enjeux du territoire : habitat, mobilité, activités économiques, énergies, environnement.

À l'échelle de l'intercommunalité ou de la commune, le PLU(i)⁽¹⁾ permet d'afficher ses ambitions en matière de développement du PV, mais également de prévoir des règles et des dispositions pour assurer une priorité aux installations sur les toitures des bâtiments, les ombrières des parkings et les sites dégradés. La collectivité est invitée à réaliser un diagnostic territorial afin d'estimer les besoins en énergie, le potentiel PV, en toiture et au sol, puis de croiser les repérages des opportunités foncières avec les enjeux de biodiversité afin d'éviter les zones à fort enjeux de conservation.

⁽¹⁾ PLU(i) : Plan local d'urbanisme (intercommunal)

Les prescriptions et les orientations définies par le PLU(i) sont tenues d'être compatibles avec les orientations définies par le SCoT⁽²⁾, lui-même intégrateur des objectifs des documents de rang supérieur SRADDET⁽³⁾, S3REnR⁽⁴⁾...

⁽²⁾ SCoT : Schéma de cohérence territoriale

⁽³⁾ SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

⁽⁴⁾ S3REnR : Schéma régional de raccordement au réseau des EnR

Des conceptions de projets à objectif de zéro perte nette de biodiversité

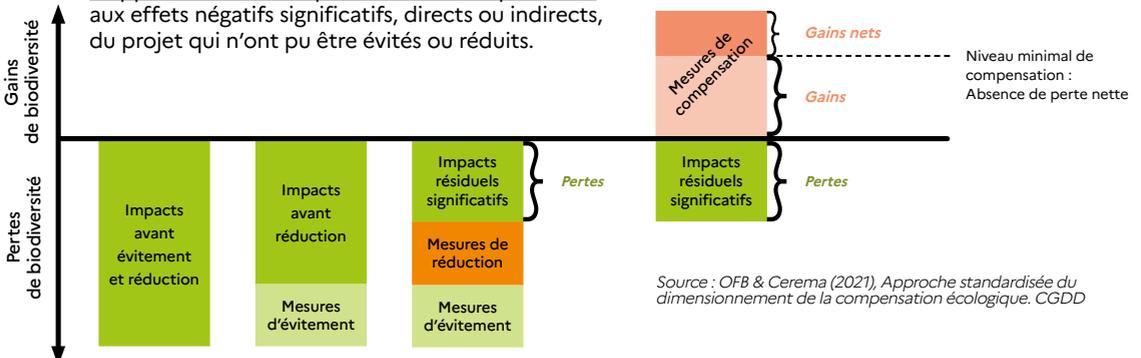
Dans le cadre de l'évaluation environnementale des projets, une démarche "ERC" (Éviter, Réduire, Compenser) doit être mise en place. La séquence ERC doit viser, par son processus itératif, à éviter les atteintes à la biodiversité et aux services qu'elle fournit, à défaut à en réduire la portée, et enfin, en dernier lieu, à compenser les atteintes qui n'ont pu être évitées ni réduites, en tenant compte des espèces, des habitats naturels et des fonctions écologiques affectées. Ce principe doit viser un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité (article L.110-1 du code de l'environnement). Si les atteintes liées au projet ne peuvent être ni évitées, ni réduites, ni compensées de façon satisfaisante, celui-ci n'est pas autorisé en l'état (article L163-1 du code de l'environnement).

LA SÉQUENCE ERC

Éviter : une mesure d'évitement modifie un projet afin de supprimer un impact négatif direct ou indirect que ce projet engendrerait.

Réduire : une mesure de réduction vise à réduire autant que possible la durée, l'intensité et/ou l'étendue des impacts d'un projet qui n'ont pas pu être évités.

Compenser : une mesure de compensation a pour objet d'apporter une contrepartie au moins équivalente aux effets négatifs significatifs, directs ou indirects, du projet qui n'ont pu être évités ou réduits.



FACTEURS DE RÉUSSITE

- Commencer la démarche d'évaluation environnementale au plus tôt et garder trace des différentes options envisagées pour rendre compte des choix progressivement évacués ;
- Mettre en place une gouvernance adaptée pour faire ressortir les meilleures options possibles au regard du diagnostic territorial, par exemple dans le cadre d'un Plan de Paysage "Transition énergétique et écologique"⁽⁵⁾ ;
- Respecter la hiérarchie de la séquence ERC en donnant la priorité à l'évitement, puis à la réduction. La compensation vient en dernier ressort ;
- Prendre en compte tous les ouvrages, installations et activités nécessaires à l'installation, à l'exploitation puis au démantèlement des parcs photovoltaïques ;
- Prendre en compte les impacts cumulés du projet avec ceux des aménagement alentours ;
- Veiller à assurer la cohérence et la complémentarité des mesures environnementales prises au titre des différentes procédures : pour les projets qui y sont soumis, l'évaluation environnementale constitue le document unique de référence visant à cette mise en cohérence des mesures.

⁽⁵⁾ Objectif paysages, site du ministère de la transition écologique, 2022

INCIDENCES POTENTIELLES ET...



12

LES PRESSIONS SUR LES SOLS ET LA BIODIVERSITÉ

- En phase de construction (défrichement, tassement, etc.).
- En phase d'exploitation (espace clos, microclimat, maintenance, etc.).
- En phase de démantèlement ou de renouvellement.



13

LES INCIDENCES SUR LE MICROCLIMAT

Sous les panneaux

- Réduction de la lumière.
- Modification de la température et de l'hygrométrie du sol.

Au-dessus des panneaux

- Effet "îlot de chaleur".



14

LES INCIDENCES SUR LES SOLS

- Imperméabilisation localisée (fondations, voies d'accès, poste de livraison)
- Modification de la porosité et de l'humidité du sol
- Modification de l'écoulement de l'eau en surface (risque d'érosion)
- Réduction de l'activité biologique et des cycles biogéochimiques (carbone, azote)

©OFB



16

LES INCIDENCES SUR LA FLORE

- Impact important sur la biodiversité végétale du fait des pressions exercées en phase de construction.
- Modification des cortèges floristiques variables selon les conditions de gestion de la végétation en phase d'exploitation.
- Conditions sous panneaux défavorables aux plantes pollinisées par les insectes.

©OFB



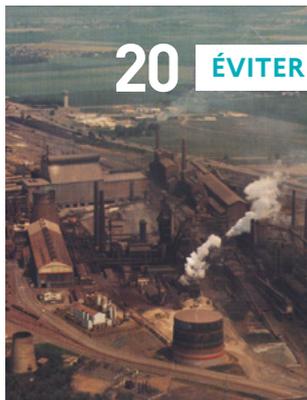
18

LES INCIDENCES SUR LA FAUNE SAUVAGE

- Altération ou destruction d'habitats.
- Fragmentation de corridors écologiques favorables au cycle de vie de certaines espèces.
- Perturbations des déplacements des grands mammifères du fait des clôtures.
- Ombrage défavorable aux insectes pollinisateurs.

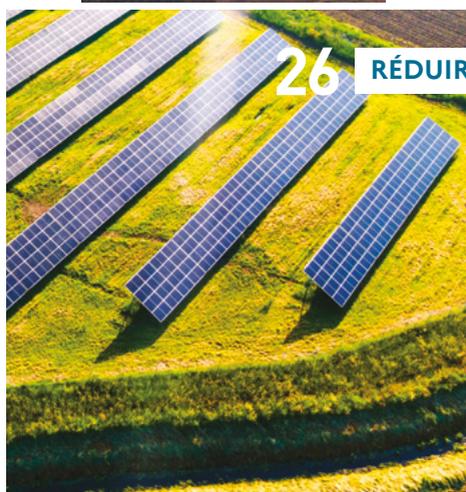
©OFB

... BONNES PRATIQUES



20 ÉVITER LES IMPACTS

- Choisir des sites "à moindres enjeux environnementaux", en donnant la priorité aux espaces déjà artificialisés ou dégradés.
- Éviter les sites à forts enjeux de biodiversité et en particulier les sites protégés, à forts enjeux patrimoniaux ou écologiques.
- Inventorier différents sites, comparer et hiérarchiser différents scénarios d'implantation en fonction des enjeux écologiques et des risques d'incidences, évalués lors d'un pré-diagnostic.



26 RÉDUIRE LES IMPACTS

- Définir l'emprise du parc pour minimiser l'atteinte à certaines entités environnementales, par exemple un habitat d'espèces à forts enjeux (gîtes à chauve-souris, mare à amphibiens, etc.) ou à un corridor écologique.
- Limiter le défrichage, le terrassement, le décapage, le transport et le stockage...
- Adapter le calendrier des travaux à la biologie des espèces (en évitant les périodes de reproduction ou de nidification).
- Adapter la configuration de la centrale (réduire la densité des panneaux...).
- Maintenir la végétation entre les rangs et assurer une gestion conservatoire de la végétation au sein et autour du parc.



32 COMPENSER LES IMPACTS

- Apporter une contrepartie aux incidences qui n'ont pu être évitées ni suffisamment réduites, pour obtenir une absence de perte nette voire un gain de biodiversité.
- Restaurer, réhabiliter ou créer des milieux naturels.



33 RÉALISER UN SUIVI ENVIRONNEMENTAL

- Essentiel pour évaluer l'efficacité des mesures ERC et les ajuster si nécessaire.
- Utiliser de préférence des protocoles BACI (before/after control impact) ciblés sur les espèces, les habitats et les fonctions à enjeux.

Caloptéryx éclatant (*Calopteryx splendens*)

SUR LES SOLS ET LA BIODIVERSITÉ



Les centrales PV au sol nécessitent une emprise foncière d'environ 1 à 2 ha/MWc, dont 25 à 40 % sont couverts de panneaux (environ 0,5 ha/MW). Une emprise à laquelle peut s'ajouter une obligation légale de débroussaillage dans une bande de 5 à 50 mètres autour du site si la zone est exposée à un risque incendie. Comme tout aménagement, ces centrales exercent des pressions sur la biodiversité et les sols tout au long de leur cycle de vie : construction, exploitation, démantèlement.

En phase de **construction**

- Défrichage (déboisement, débroussaillage, etc.) ;
- Terrassement, tassement, voire aplanissement des sols ;
- Création de zones de stockage des matériels et d'une base-vie pour les acteurs du chantier ;
- Pose des fondations des supports (pieux vissés ou battus ; semelles béton ; gabions ; etc.), puis des modules ;
- Creusement de fossés pour enterrer les câbles électriques de raccordement ;
- Installation des équipements électriques (onduleurs et transformateurs, poste de livraison) ;
- Construction ou élargissement de voies d'accès et de circulation des engins ;
- Installation de clôtures périphériques ;
- Sondages archéologiques dans certains cas.

En phase d'**exploitation**

- Création d'un espace clos, contraignant l'intrusion d'espèces animales de grande taille ;
- Modification du microclimat au-dessus et sous les panneaux et réflexion de lumière polarisée ;
- Modification des conditions d'habitats pour les espèces végétales et animales sauvages ;
- Gestion de la végétation entre et sous les panneaux, afin d'éviter un ombrage sur les panneaux et de faciliter l'accès ;
- Maintien d'obligation légale de débroussaillage dans une bande de 5 à 50 m autour du site si la zone est exposée à un risque incendie ;
- Opérations de maintenance, de nettoyage des panneaux, d'entretien des pistes, etc.

En phase de **démantèlement ou de renouvellement**

À l'issue de l'exploitation, le parc PV est soit renouvelé avec de nouveaux équipements plus performants, soit démonté et le site remis en état. Les composants sont collectés et envoyés vers les filières de recyclage. Les pressions sont analogues à celles exercées en phase de construction. Il existe néanmoins encore peu de retours d'expérience sur cette dernière phase.

Ces facteurs de pression ont des incidences sur les sols, la végétation, le comportement et les habitats naturels de certains animaux, et donc sur la biodiversité.

SUR LE MICROCLIMAT

Selon la littérature scientifique, le microclimat peut être modifié en dessous et au-dessus des panneaux.

La nature et l'ampleur de ces modifications varient en fonction de l'état initial du site, du climat local et des modalités de conception des parcs (nature, hauteur et densité des panneaux installés, gestion de la végétation).

Le microclimat sous les panneaux

Réduction de la lumière

La structure des panneaux crée un effet d'ombrage en réduisant le rayonnement sous les panneaux, et même au-delà avec l'ombre portée.

Modification de la température et de l'hygrométrie du sol

Des études mettent en évidence une température plus fraîche de l'air et du sol sous les panneaux (jusqu'à 5 °C) et une humidité du sol plus élevée qu'entre les panneaux.

Ce phénomène dépend notamment du climat local, de la hauteur et de l'espacement des panneaux.

Les modifications du microclimat sous les panneaux sont susceptibles d'altérer les conditions d'habitats pour les espèces végétales et animales initialement présentes, avec pour éventuelles conséquences une baisse de la richesse en espèces et



une modification de leur diversité. Cet impact devient un enjeu majeur en présence d'espèces patrimoniales ou protégées. La réduction du rayonnement solaire et de la température sont des facteurs limitant pour la productivité végétale sous les panneaux. Cependant, on observe également une atténuation des stress hydrique et thermique en période estivale qui peuvent compenser ces effets.

Le microclimat au-dessus des panneaux

Effet "îlot de chaleur"

La dynamique de dissipation de la chaleur vers l'atmosphère peut être modifiée et générer un effet "îlot de chaleur" au cours de l'année. C'est particulièrement le cas si la capacité de la végétation à évapotranspirer, et donc à dissiper la chaleur lors du passage de l'eau à l'état de vapeur, est réduite.

Des augmentations allant jusqu'à 4 °C ont ainsi pu être observées la nuit au-dessus d'une centrale PV en milieu aride.

La conversion d'une partie de la lumière en électricité, la modification de l'albédo (réflexion directe de la lumière) et la turbulence de l'air peuvent également jouer sur le microclimat.

L'impact d'un parc photovoltaïque est donc très dépendant de son design et du contexte local.

SUR LES SOLS



Les pressions exercées par le défrichage, le tassement, le terrassement, la construction des différentes structures de la centrale et la création d'un microclimat sous les panneaux en phase d'exploitation ont des incidences sur les propriétés des sols. Elles peuvent affecter plusieurs de leurs fonctions écologiques, notamment leur capacité à stocker et à infiltrer l'eau, à héberger de la biodiversité et à séquestrer du carbone.

Les surfaces imperméabilisées

(dont le sol est scellé sous une couverture minérale hermétique empêchant les interactions biophysiques entre le sol et l'atmosphère comme l'infiltration de l'eau) sont limitées. Elles concernent l'emplacement des fondations (pieux ou dalles béton), les voies d'accès, le poste de livraison électrique et les assises béton de chaque piquet de clôture.

Les surfaces artificialisées

(dont les fonctions écologiques des sols sont durablement modifiées malgré l'absence de couverture hermétique) peuvent être importantes, en particulier en raison d'atteintes directes à l'intégrité physique des sols lors de l'aménagement (terrassement, décapage, tassement) et des changements des conditions hydriques et d'ensoleillement sous les panneaux. Elles le seront d'autant plus que les panneaux sont installés près du sol et avec une forte densité.



L'ARTIFICIALISATION, QU'EST-CE QUE C'EST ?

L'artificialisation a d'abord été définie comme consommatrice d'espaces : sont artificialisés tous les espaces qui ne sont ni naturels, ni agricoles, ni forestiers. Afin d'intégrer les impacts sur la qualité des sols et la biodiversité, la loi Climat et Résilience de 2021 la définit comme *"l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique"*.

Objectif "zéro artificialisation nette" (ZAN)

La loi Climat et Résilience confirme l'objectif, inscrit dans le Plan biodiversité de 2018, de "zéro artificialisation nette" des sols en 2050. Elle fixe aussi un objectif intermédiaire de division par deux de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF) sur la période 2021-2031. Un article de cette loi prévoit que les centrales PV ne soient pas comptabilisées comme consommatrices d'ENAF si elles n'affectent pas durablement les fonctions écologiques du sol et si, le cas échéant, elles ne sont pas incompatibles avec la poursuite d'une activité agricole ou pastorale. Un décret et un arrêté précisent les modalités de cette comptabilisation sur la période 2021-2031⁽¹⁾.

Au regard de l'objectif ZAN et du déploiement envisagé du PV, il existe ainsi un enjeu fort à développer des centrales peu artificialisantes.

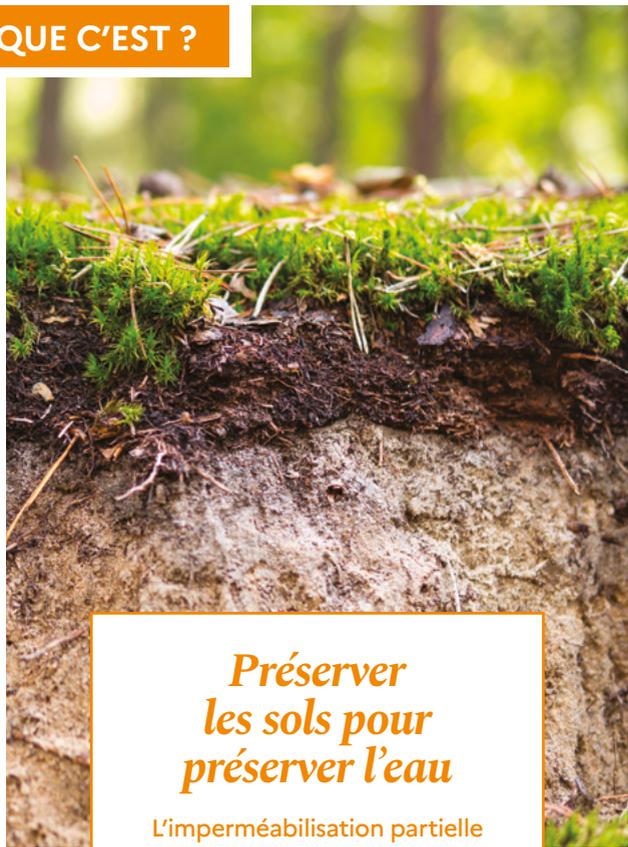
Incidences sur l'intégrité physique des sols

- Perte de sol et imperméabilisation localisée ;
- Modification de l'humidité du sol ;
- Compaction, tassement ;
- Réduction de l'infiltration de l'eau en surface, pouvant entraîner du ruissellement et donc de l'érosion, en particulier en présence de pentes.

Incidences sur l'activité biologique et la chimie des sols

- Couvert végétal dégradé et perte de matière organique ;
- Réduction de l'activité biologique et des cycles biogéochimiques associés (carbone, azote) ;
- Risques de contamination chimique.

⁽¹⁾ Projet de décret définissant les modalités de prise en compte des installations de production d'énergie photovoltaïque au sol dans le calcul de la consommation d'espaces au titre du 5° du III de l'article 194 de la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, 2022, ministère de la Transition écologique



Préserver les sols pour préserver l'eau

L'imperméabilisation partielle des sols et la concentration des écoulements des eaux de pluie au point bas des panneaux peuvent entraîner une érosion localisée et le transfert de particules vers les eaux de surface. Espacer les panneaux permet de mieux répartir le ruissellement et donc de réduire ce risque.

À cela, peuvent s'ajouter des mesures de décompaction et de végétalisation du sol, ainsi que de gestion des ruissellements superficiels.

RISQUES DE POLLUTION ?

Certaines publications évoquent des risques potentiels de pollutions liés à l'emploi d'herbicides et de produits pour nettoyer les panneaux. Mais en France, les exploitants optent le plus souvent pour des solutions utilisant uniquement de l'eau.

SUR LA FLORE



Les pressions de la construction

Les pressions exercées en phase de construction (défrichage, terrassement, débroussaillage, etc.) peuvent avoir un impact important sur la végétation ; et ce, sur l'intégralité de l'emprise du site – et pas seulement à l'emplacement des panneaux. À l'issue du chantier, les sols qui ont été dévégétalisés, tassés, compactés, contribuent en effet à modifier la flore.

Retour possible de la végétation originelle

Ensuite, la végétation va avoir tendance à revenir d'autant plus rapidement que des précautions auront été prises durant le chantier et que l'impact des panneaux, notamment sur l'ombrage, sera limité. Dans un premier temps, des plantes rudérales (espèces pionnières colonisant les milieux perturbés) tendent à occuper la place de la végétation originelle, qui devra souvent bénéficier de mesures de gestion adaptées et pérennes pour se maintenir.

La présence d'espèces végétales patrimoniales ou protégées doit faire l'objet d'une vigilance particulière. Si le projet risque d'impacter de telles espèces, il faut en premier lieu chercher à contourner la zone de présence de plants. S'ils ne peuvent être évités entièrement, la réglementation impose l'octroi d'une dérogation à la protection stricte des espèces concernées.

Ces situations doivent faire l'objet d'une évaluation fine pour assurer le maintien du bon état de conservation de ces espèces, en examinant les solutions techniquement faisables à cet effet : elles peuvent nécessiter des mesures additionnelles de restauration d'habitats sur des sites de compensation (dont on devra apprécier au préalable la faisabilité et l'efficacité).



Les conséquences du microclimat sous les panneaux

En phase d'exploitation, la création d'un microclimat sous les panneaux modifie également la végétation. Les scientifiques observent ainsi une modification des cortèges floristiques, le microclimat sous les panneaux pouvant en effet créer des conditions favorables ou défavorables aux espèces végétales, selon leurs préférences écologiques. Il aura par exemple un effet négatif sur les plantes héliophiles (ayant des besoins d'ensoleillement fort), mais positif sur les espèces sciaphiles (inféodées aux milieux ombragés). Une diminution du stress hydrique et thermique en été peut avoir des impacts positifs sur certaines espèces. Les scientifiques observent également sous les panneaux un développement des graminées et une disparition des légumineuses (plantes à fleurs), associés à une réduction de la production de nectar. Les plantes pollinisées par les insectes sont donc défavorisées.



Des incidences variables

La nature et l'ampleur de ces incidences sur la flore varient en fonction du climat (avantages de l'ombrage dans les milieux chauds et secs), des saisons, des espèces végétales initialement présentes, des modalités de conception des parcs (nature, hauteur, densité et orientation des panneaux ; modalités d'ancrage ; emprise au sol des pistes et plateformes techniques, etc.), mais aussi des précautions prises lors de la construction et des mesures de gestion de la végétation en phase d'exploitation (modalités de fauches et/ou de pâturage).



Ambrosie à feuilles d'armoise (*Ambrosia artemisiifolia*)

ATTENTION AUX PLANTES EXOTIQUES ENVAHISSANTES

Introduites lors du chantier avec l'apport de terre ou présentes dès l'origine sur le site, puis disséminées par des fauches ou d'autres actions inappropriées, des plantes exotiques envahissantes peuvent se multiplier en l'absence de mesures adaptées.

SUR LA FAUNE SAUVAGE



Myrtil (*Maniola jurtina*)

Perte d'habitats et fragmentation des milieux naturels

Les principales incidences de la construction d'un parc PV sur la faune sauvage sont la perte d'habitat suite à l'altération ou à la destruction de milieux naturels, et la fragmentation de leurs corridors de déplacement avec la mise en place de clôtures. Ces pertes d'habitats et de corridors peuvent porter atteinte à certaines espèces et créer des déséquilibres au sein des écosystèmes. Par exemple, une raréfaction de certains insectes puis, par ricochet, des oiseaux et des chauves-souris qui s'en nourrissent.

Ces incidences sont d'autant plus importantes que les écosystèmes concernés sont initialement riches et fonctionnels (habitats naturels d'intérêt communautaire, zones humides, habitats d'espèces protégées, en particulier pour les espèces menacées, etc.).

Elles dépendent aussi des options retenues pour la conception du projet (taille de l'installation, perméabilité des clôtures, gestion de la végétation, linéaires de pistes et de fossés, etc.).

Nouveaux habitats

Ponctuellement, les modifications apportées au site peuvent aussi être à l'origine de nouveaux habitats (mares temporaires dans des ornières, pelouses sèches, par exemple). Des habitats ou des micro-habitats peuvent également être aménagés par les exploitants dans le cadre de mesures de réduction ou de compensation, comme des tas de pierres pour accueillir des reptiles.



Perturbations des déplacements des grands mammifères

En phase d'exploitation, les clôtures contraignent les déplacements des animaux, en particulier des grands mammifères comme les cerfs, les chevreuils ou les sangliers. Par extension, elles peuvent contribuer à augmenter la mortalité des individus en les contraignant sur des espaces dangereux (voies de circulation, impasses). Cet impact peut être significatif, d'autant qu'il peut se cumuler avec ceux d'autres aménagements.

Des clôtures mal positionnées ou mal équipées (par exemple avec des barbelés en hauteur ou au ras du sol, ou des poteaux creux) peuvent également créer un risque de piège, de collision et de blessure pour les oiseaux, les petits mammifères, dont les chauves-souris, les reptiles ou les amphibiens.

“Effet réserve” : un refuge pour certaines espèces

A *contrario*, délimiter un espace peu fréquenté en phase d'exploitation peut participer à un “effet réserve”, favorable à certaines espèces qui trouvent sur le site un peu de quiétude. Une fonction de refuge des parcs PV a été décrite notamment pour les araignées ou les coléoptères, grâce à la création de microhabitats, aux mesures de gestion écologique et à l'absence de traitements phytosanitaires.

Des conditions favorables à des espèces inféodées aux milieux ouverts

Sur les surfaces dépourvues de panneaux, l'ouverture du milieu peut attirer des espèces inféodées aux milieux ouverts, comme les oedicnèmes, les busards cendrés ou certains passereaux... Mais elle pourra aussi créer des conditions défavorables aux espèces de forêts et de lisières. Les bénéfices et les pertes liés à la modification de ces milieux doivent donc s'analyser au cas par cas.

L'ombrage défavorable aux insectes pollinisateurs

L'activité des insectes pollinisateurs comme les abeilles est réduite par l'ombrage engendré par les panneaux et par la difficulté induite à reconnaître les couleurs florales. Ce facteur d'aversion, également associé à une moindre production de nectar sous les panneaux, est aussi constaté pour les papillons.

Lorsqu'il y a les trois points, les impacts peuvent être faibles à forts selon les caractéristiques du milieu et des centrales.

“Effet puits” : quand les panneaux miment une surface aquatique

La lumière polarisée réfléchiée par les panneaux peut aussi attirer des insectes polarotactiques, comme les libellules. Ces insectes aquatiques confondent les panneaux avec une étendue d'eau.

Ils vont alors les heurter, se brûler ou pondre des œufs qui ne pourront pas éclore, faisant ainsi des panneaux un “piège écologique” qui pourrait affecter les populations de ces insectes.

Des oiseaux aquatiques et des chauves-souris auraient également tendance à confondre les panneaux avec des surfaces en eau ; leur mortalité par collision semble néanmoins limitée.

Cet effet est à davantage documenter.

Calopteryx éclatant (Calopteryx splendens)

CARACTÉRISATION DES IMPACTS POTENTIELS SUR LA FAUNE PAR ÉTAPE DU CYCLE DE VIE DE L'INSTALLATION PV (D'APRÈS ADEME, 2020)

IMPACTS POTENTIELS SUR LA FAUNE / ÉTAPE DU CYCLE DE VIE DE LA CENTRALE	CONSTRUCTION INSTALLATION	EXPLOITATION	DÉMANTÈLEMENT
MODIFICATION / PERTE D'HABITAT	●●●	●●●●	
FRAGMENTATION D'HABITAT	●	●●●●	
MODIFICATION DU FONCTIONNEMENT DES ÉCOSYSTÈMES	●●●	●●●●	
DÉPLACEMENT / ÉLOIGNEMENT LIÉ AUX INFRASTRUCTURES	●	●●●	●
EFFET BARRIÈRE / CONTOURNEMENT / PERTURBATION DES ANIMAUX		●●●●	
PERTURBATIONS SENSORIELLES	●	●●●	●
COLLISION		●	
ÉLECTROCUTION		●	
BRÛLURES / AUTRES BLESSURES		●	

● Faible impact ● Fort impact ● Très fort impact

ÉVITER LES IMPACTS



Les projets PV implantés en milieu naturel ont de fait des incidences sur la biodiversité. Le déploiement du PV sur ce type de sites pourrait également être contraint par le besoin de compensation qu'il engendre, d'autant plus important que les sites concernés présentent de forts enjeux environnementaux. La priorité est à l'évitement des impacts. Une fois l'opportunité du projet clairement établie, le choix du site est primordial.

Privilégier les sites déjà artificialisés

La meilleure façon d'éviter les atteintes à la biodiversité est de privilégier des sites "à moindres enjeux environnementaux", en donnant la priorité aux espaces déjà artificialisés ou dégradés : toitures des bâtiments, parkings, friches industrielles, sites pollués, délaissés routiers et autoroutiers... Il convient toutefois de rester vigilant car certains de ces sites peuvent accueillir des espèces rares et protégées, à l'image de certains anciens sites de décharges ou de carrières.

Éviter les milieux naturels à forts enjeux de conservation

Selon les lignes directrices nationales sur la séquence ERC, le choix du site d'implantation doit éviter les sites Natura 2000 et autres aires de protection forte⁽¹⁾. Il importe également de rechercher toutes les alternatives à l'implantation de parcs PV sur des sites à forts enjeux de conservation compte tenu de leurs fonctions écologiques ou de leurs services rendus à la société⁽²⁾. Enfin, il est recommandé d'éviter les zones soumises à un risque naturel.

LA PISTE DE L'AGRIVOLTAÏSME

Les installations ne doivent pas se substituer à une activité agricole. Néanmoins, les premières expérimentations en agrivoltaïsme soulignent les bénéfices que peut parfois apporter la présence de modules PV en améliorant les conditions de culture, notamment dans les régions sèches. C'est donc une solution à encourager si (et seulement si) elle maintient un co-usage agricole et énergétique, si les modules apportent un ou plusieurs services à la production agricole (adaptation au changement climatique par exemple) et ce, sans induire de dégradation importante de la production agricole et des revenus issus de cette même production.

⁽¹⁾ Arrêté de protection de biotope ; arrêté préfectoral de protection de site d'intérêt géologique ; réserve de biosphère ; réserve naturelle nationale, régionale et de Corse ; cœur de parc national ; site acquis du Conservatoire du littoral ou des Conservatoires d'Espaces Naturels ; réserves nationales de chasse et de faune sauvage.

⁽²⁾ Exemples : aire de protection contre les crues ; aire de captage d'eau potable ; ZNIEFF de type I et II ; arrêté de protection des habitats naturels ; site de compensation des atteintes à la biodiversité ; zone humide, espace boisé classé, forêt ancienne.

La méthode : état initial et diagnostic des enjeux environnementaux

Implanter les projets sur des sites à “moindres enjeux environnementaux” suppose d’en inventorier plusieurs, d’évaluer leurs enjeux environnementaux, puis de hiérarchiser les différents scénarios obtenus sur la base de leurs incidences respectives sur ces enjeux. D’où l’importance de la réalisation d’un état initial le plus complet possible, permettant :

- de caractériser de manière objective les espèces, habitats naturels, fonctions écologiques et services écosystémiques présents au droit de ces sites ;
- d’évaluer les enjeux de préservation associés ;
- et d’estimer les mesures ERC à mettre en œuvre en conséquence.

À cette fin, l’état initial doit être réalisé sur la base d’un protocole fiable. Le périmètre de l’étude doit intégrer la mosaïque d’habitats présente au-delà de l’emprise du parc, leurs interconnexions et les fonctions écologiques et services associés. Ce même protocole pourra ensuite être repris lors de la réalisation des suivis.

Une fois le site choisi, l’analyse doit prendre en compte l’ensemble des phases du projet et des pressions associées, qualifier et quantifier les incidences en termes de nature, d’intensité, d’ampleur et de durée, et intégrer les effets directs, indirects, cumulés et induits. L’analyse des risques doit porter en particulier sur l’atteinte irréversible aux espèces à forts enjeux de conservation, rares ou menacées d’extinction, “spécialistes” et/ou à faible capacité de dispersion, et sur l’altération de la mosaïque d’habitats et du paysage.



Crapaud calamite (*Epidaleia calamita*)

Les outils disponibles

Pour comparer les scénarios d’implantation des projets, l’outil le plus utilisé est la grille multicritère, dont une synthèse est présentée par le Centre national de ressources “ERC” de l’OFB. Le guide technique d’écoconception des centrales photovoltaïques, publié dans le cadre du programme PIESO, présente une matrice décisionnelle. Des chartes et cartographies d’enjeux peuvent être également élaborées pour orienter les projets vers les zones à moindres enjeux, notamment dans le cadre de la planification territoriale.

RETOUR D'EXPÉRIENCE



LE PARC



Caen la mer

Une centrale solaire sur une friche industrielle urbaine

© IEL

Colombelle

**Calvados
Normandie**

PUISSANCE

9,83 MWc

SURFACE TOTALE

19.3 ha

SURFACE DE COMPENSATION

0 ha*

TAUX DE COUVERTURE DES PANNEAUX

29 %

HAUTEUR DES PANNEAUX

0,90 m
à 2,55 m

ÉCARTEMENT DES PANNEAUX

8 m

TYPE DE FONDACTIONS

Pieux forés
bétonnés
(trackers 1 axe)

En 1993, la Société Métallurgique de Normandie (SMN) fermait ses portes, laissant une friche industrielle de 260 ha. Depuis, la revitalisation de cet espace s'est traduite par la création de zones d'activités et d'une Zone d'Aménagement Concertée (ZAC). Mais il restait au cœur du site "une emprise d'une vingtaine d'hectares difficilement aménageable en raison de l'instabilité du sous-sol, encombré jusqu'à 15 mètres de profondeur par les vestiges de l'ancienne usine (restes de fondations et de réseaux)", précise Claude Guérin, de la société Enolya, co-développeur du projet. "À cette pollution mécanique s'ajoute une pollution superficielle (sables, déchets de charbon, etc.) qui rend difficile le développement de la végétation. Une tentative d'y planter des arbres s'est d'ailleurs soldée par un échec". L'implantation d'une ferme solaire est donc apparue comme une solution pertinente et réversible de valorisation. C'est ainsi qu'a été mise en service en 2018 l'une des plus grandes centrales PV au sol de France en milieu urbain. Un projet développé par les sociétés IEL et Enolya, et soutenu par la communauté urbaine de Caen la mer, la mairie de Colombelle, Normandie Aménagement et les services de l'Etat (DREAL et DDT).



L'ancien site industriel de la SMN

*jugé non nécessaire du fait des impacts résiduels négligeables du projet.

Pas d'enjeux environnementaux majeurs

Le parc est localisé en milieu urbain, en dehors de zones naturelles protégées – à plus de 7 km du site Natura 2000 de l'estuaire de l'Orne et à plus d'1 km d'une ZNIEFF, qui abritent une flore et une faune spécifiques, non susceptibles de s'étendre en milieu urbain. Aucune zone humide ni aucun habitat aquatique n'a été observé sur le site. Un bassin d'orage et de décantation artificiel a été conservé hors du périmètre du projet.

Le site est constitué d'un remblai calcaire caillouteux et compact, où se sont installées des pelouses anthropiques, avec des espèces caractéristiques des friches rudérales calcicoles (Brome à deux étamines, Vipérine, etc.) et des espèces introduites (Buddleia, Sénéçon sud-africain, etc.). Cette friche très artificielle constitue néanmoins pour certaines espèces un milieu de substitution et n'est donc pas totalement dénuée d'intérêt écologique. Deux espèces végétales remarquables y ont ainsi trouvé refuge : le Céraiste nain et le Calament acinos.

Plusieurs espèces d'oiseaux ont également été inventoriées dans la zone d'étude, mais seul un couple d'Alouette des champs (espèce protégée mais banale en Normandie) semble inféodé à cette friche. L'intérêt du site comme zone de chasse ou de repos est faible. Quelques espèces d'insectes en régression dans la campagne traditionnelle ont également été recensées sur le site, comme la Decticelle chagrinée (sauterelle) ou l'Oedipode turquoise (criquet).

Mesures de réduction et d'accompagnement

Pour limiter les incidences sur la biodiversité, des mesures de réduction ont été mises en place : application de la charte "Chantier Vert", entretien par fauche ou broyage (une à deux fois par an), sans utilisation de pesticides. L'objectif est de maintenir la végétation au stade herbacé, en laissant la possibilité aux plantes à fleurs de monter à graine. La conservation partielle des habitats entre les rangées vise à permettre au site de continuer à jouer son rôle de refuge pour certaines espèces. Des travaux de recherche sont menés avec le soutien de l'ADEME pour évaluer la



capacité des sols à stocker du carbone et intégrer cet enjeu dans la gestion de la végétation.

Des aménagements ont également été réalisés pour intégrer le site dans le paysage et réduire l'artificialisation des espaces. La frontière avec les habitations au nord-est est constituée d'une strate arborée. Les limites avec la route au sud-ouest et la zone d'activités au sud-est sont marquées par des talus, initialement ensemencés d'un mélange de graminées à faible dynamique afin de permettre leur remplacement rapide par la flore locale, puis entretenus par un girobroyage régulier afin de maintenir une végétation herbacée. À la limite nord-ouest, une bande de 2,5 mètres de large a été plantée de cépées, et des espèces intéressantes trouvées sur le site ont été réimplantées, comme le Calament acinos.

Au final, les impacts de la construction et de l'exploitation de la centrale sur la biodiversité et les milieux naturels ont été considérés comme faibles. Aucune mesure de compensation, ni de suivi, n'a été exigée par les autorités environnementales. *"Avant l'implantation de la centrale, le site n'était pas clos et était utilisé pour toutes sortes d'activités (motocross, décharge, etc.), précise Claude Guérin. Le fait de l'avoir clôturé contribue à faciliter le maintien, voire le développement de la flore. Et d'ailleurs, aujourd'hui, la végétation est plus abondante qu'avant".*

RETOUR D'EXPÉRIENCE



LE PARC

Agrivoltaïsme

Des premiers résultats encourageants

©SUN'AGRI

Tresserre
Pyrénées-Orientales
Occitanie

PUISSANCE

2,12 Mwc

SURFACE TOTALE

7,5 ha

(dont 4,5 ha sous persiennes)

SURFACE DE COMPENSATION

0 ha*

TAUX DE COUVERTURE DES PANNEAUX

40 %

HAUTEUR DES PANNEAUX

4,70 m à 5,40 m
du sol

ÉCARTEMENT DES PANNEAUX

9 m

TYPE DE FONDATIONS

Pieux battus
(sans ancrage béton)

Produire de l'énergie tout en favorisant l'adaptation des vignes aux changements climatiques

Dans les régions méditerranéennes, les cultures, et en particulier la vigne, souffrent des changements climatiques : modification des profils aromatiques des vins (augmentation du taux d'alcool et diminution de l'acidité), accroissement des pertes liées aux aléas climatiques (grêle, gel printanier, vagues de chaleur), besoin accru d'irrigation. "D'où l'idée de développer une solution d'adaptation en utilisant des persiennes agrivoltaïques mobiles, pilotées en fonction des besoins en lumière de la plante", explique Jérémy Roche, chargé d'études écologiques pour Sun'Agri. Une solution développée grâce aux programmes de recherche menés depuis 2009, notamment avec l'INRAE⁽¹⁾.

Sun'Agri développe ainsi des projets agrivoltaïques de taille modeste (2,5 à 4 ha) en privilégiant la viticulture et l'arboriculture, sur des parcelles en renouvellement et présentant une faible pente. Des projets réfléchis afin d'impacter le moins possible la biodiversité et les paysages : réflexion sur le site d'implantation, étude écologique et paysagère, mise en place de mesures suivant la séquence ERC... Le parc de Tresserre (66) est le premier projet à taille industrielle.



©SUN'AGRI

*Jugé non nécessaire du fait des impacts résiduels négligeables du projet.

⁽¹⁾ INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Évitement : le choix d'une zone à faibles enjeux de biodiversité

En amont du projet, les zones à forts enjeux de biodiversité ont été évitées (zone protégée au titre de Natura 2000, zonage d'inventaire ZNIEFF...). Pour le site choisi, l'étude d'impact n'a identifié aucun enjeu notable pour la flore, les habitats naturels ou les insectes (absence d'espèces protégées et/ou patrimoniales), et peu d'habitats favorables aux amphibiens. Les impacts notables concernaient le cortège des reptiles ibériques (Lézard ocellé), celui des oiseaux nicheurs des milieux ouverts comme le Pipit rousseline, ainsi que les chauves-souris (huit espèces), utilisant le site essentiellement comme zone de chasse.

Une série de mesures de réduction

Un ensemble de mesures de réduction a été mis en place lors du chantier (pas de défrichage, pieux battus, adaptation du calendrier des travaux à la phénologie des espèces, etc.) et en phase d'exploitation. *"Le parc est une structure ouverte, sans clôtures (permettant la libre circulation des espèces), avec des panneaux placés à plus de 4,5 m de hauteur et un taux de couverture limité à 40 %, précise Jérémy Roche. Et le système de pilotage des panneaux est conçu pour optimiser l'apport de lumière au besoin de la culture".* Des mesures d'accompagnement ont également été prises : mise en place de haies champêtres, de gîtes à chiroptères et de nichoirs pour l'avifaune, translocation des gîtes du Lézard ocellé en périphérie du projet... Aucune mesure de compensation n'a été nécessaire du fait des impacts résiduels négligeables du projet.

Des suivis écologiques réguliers

Des suivis écologiques planifiés sur six ans sont mis en place, avec des passages faune et flore, et une comparaison avec la parcelle témoin. Même si le recul (trois ans) est insuffisant pour tirer des conclusions définitives ou généraliser, les premiers résultats sont encourageants. La structure ne semble pas déranger les papillons



Un service agronomique qui se confirme

Le suivi agronomique régulier, réalisé depuis 2019 sur le site de Tresserre, indique que les persiennes apportent à la vigne une protection face aux fortes températures (diminution de 2 à 4 °C, réduction des brûlures sur les feuilles, les fruits et les branches). Le rendement s'est maintenu sous certaines conditions et les vins produits sont moins alcoolisés (jusqu'à -1,5°). La structure apporte aussi une protection face au gel printanier (écart de température de +2 °C) et permet de réduire l'irrigation (-12 à -37 % de consommation d'eau).

ou les mammifères, qui utilisent l'ombrage lors des fortes chaleurs. D'autres l'utilisent comme support, comme des reptiles et certains oiseaux (perchoir, nidification). Les impacts observés sous les panneaux concernent la modification du cortège floristique et la diminution du territoire de chasse des chiroptères, et surtout des rapaces et des oiseaux se nourrissant en vol (hirondelles). On observe une augmentation de la richesse spécifique entre 2020 et 2021 (118 espèces animales et végétales recensées en 2021, contre 85 en 2020).

Quatre nichoirs et cinq gîtes ont été installés début mars 2022 au sein du parc ou aux abords immédiats. Après trois mois, la présence d'un chiroptère a été observée sur un gîte à Oreillards et Noctules, deux nichoirs présentaient des nids en construction, et un nichoir était occupé par des poussins d'Étourneau sansonnet.

RÉDUIRE LES IMPACTS



Lorsque l'évitement est impossible, il convient de réduire les impacts négatifs (permanents ou temporaires, et cumulés) du projet sur l'environnement, en phase de construction, d'exploitation et de démantèlement. Il peut s'agir d'abord de définir l'emprise du parc de manière à minimiser l'atteinte à certaines entités environnementales, par exemple en contournant un corridor de déplacement de la faune ou un habitat d'espèces à forts enjeux (gîtes à chauve-souris, sites de nidification pour les oiseaux, mare à amphibiens, etc.), ou encore de mettre en défens des habitats naturels sensibles au piétinement ou au déplacement d'engins.

Objectifs et moyens

- Pour protéger les sols et leurs fonctions et services associés, il faut limiter le défrichage, les terrassements, le décapage, les transports, la consommation d'eau, et interdire le désherbage chimique. Il sera également pertinent d'utiliser ou d'aménager une voie d'accès existante sans imperméabilisation plutôt que d'en créer une nouvelle.
- La limitation des incidences sur les composantes physiques, biogéochimiques et biologiques des écosystèmes passe par la réduction de l'ombre portée (densité, hauteur et technologie des panneaux). Prévoir des dispositifs de gestion des eaux de ruissellement au niveau des pistes et à l'aplomb des panneaux pour réduire l'érosion, et adapter le calendrier des travaux à la biologie des espèces (en évitant les périodes de reproduction ou de nidification) font aussi partie des bonnes pratiques.
- Pour réduire les incidences sur le déplacement des animaux au sein des corridors écologiques, il convient de limiter les emprises clôturées et de favoriser leur perméabilité et leur visibilité

(poteaux larges, passages à petite faune, clôtures "habitat" et végétalisées, couloirs et ouvertures localisées).

- Quant au maintien de la mosaïque d'habitats, des fonctions écologiques et des services écosystémiques associés, il exige de créer des conditions favorables à la reprise végétale et d'assurer une gestion conservatoire des espaces végétalisés au sein et autour du parc.



Chevreuil (*Capreolus capreolus*)

L'importance de la densité, de la hauteur et de l'espacement des panneaux

Plusieurs études soulignent que les impacts du PV sur les sols et la biodiversité dépendent également du design du parc : densité et hauteur des panneaux, espacement entre rangées, type de fondation... Elles constatent que les insectes, les reptiles et les oiseaux sont plus nombreux et plus diversifiés lorsque les rangées de panneaux sont plus espacées et que des mesures de gestion de la végétation adaptées et pérennes sont mises en œuvre. La hauteur au sol apparaît aussi comme un critère déterminant pour limiter l'ombrage et éviter la création de microclimats.

GESTION CONSERVATOIRE DE LA VÉGÉTATION

À l'issue du chantier de construction, une condition essentielle au repeuplement ou au maintien d'espèces végétales et animales initialement présentes est la gestion conservatoire de la végétation entre les rangées de modules, autour des emprises des panneaux, voire au sein des bandes OLD (obligations légales de débroussaillage). Plusieurs modes de gestion sont envisageables : gestion différenciée de la végétation (par exemple, fauche tardive à certaines saisons en fonction des espèces présentes et notamment du cycle de vie des insectes), gestion extensive pérenne, pâturage extensif. Ces mesures de gestion sont notamment recommandées pour améliorer l'accueil d'insectes pollinisateurs ou de papillons de prairies. En complément, toutes les mesures doivent être prises pour éviter la dissémination d'espèces exotiques envahissantes (voir les guides diffusés par le centre national de ressources "EEE" de l'OFB).

Atténuer la polarisation de la lumière

L'attrait exercé par la lumière polarisée réfléchiée par les panneaux solaires sur certaines espèces d'insectes, en particulier aquatiques, pourrait être atténué par l'apposition de rayures blanches, d'un revêtement antireflets ou par un texturage des panneaux. Mais la mesure de conservation la plus efficace contre ce "piège écologique" reste d'éloigner les panneaux des zones d'activité de ces insectes.



Demi-deuil (*Melanargia galathea*)

RETOUR D'EXPÉRIENCE

Parc de Gramat

Réduction efficace sur le site d'une ancienne décharge

LE PARC



Gramat
Lot
Occitanie

PUISSANCE

5,4 MWc

SURFACE TOTALE

9,31 ha

SURFACE DE COMPENSATION

0 ha*

TAUX DE COUVERTURE DES PANNEAUX

27 %

HAUTEUR DES PANNEAUX

0,85 m

ÉCARTEMENT DES PANNEAUX

4 m environ

TYPE DE FONDATIONS

Pieux battus

Mis en service en 2019 par CNR (Compagnie Nationale du Rhône), le parc PV de Gramat est implanté sur une ancienne décharge de la commune, située dans le Parc naturel régional des Causses du Quercy. Un choix qui a permis de réhabiliter ce site déjà artificialisé et ne traversant aucun zonage de protection de la biodiversité. La zone d'études initiale (63 ha) n'était pas pour autant exempte d'enjeux écologiques : présence d'une espèce végétale protégée, la Sabline des chaumes ; murets de pierre sèche autour du site constituant des habitats favorables pour les reptiles ; présence d'oiseaux de boisements (Pic noir, Gobemouche noir, etc.) et de l'Alouette lulu sur les milieux ouverts et semi-ouverts...

Évitement des zones à plus fort enjeux

"L'étude d'impact a été menée avec une pression d'inventaire assez importante, ce qui a permis d'obtenir une estimation pertinente des enjeux écologiques et des impacts potentiels du projet, afin de mettre en place les mesures appropriées pour éviter ou réduire ces impacts", souligne Camille Rolin, ingénieure environnement de la CNR. Grâce au diagnostic initial, les zones à fort enjeu de protection ont pu être évitées et les corridors écologiques maintenus. Deux importantes stations de Sabline des chaumes ont ainsi été exclues du périmètre du projet, tout comme l'intégralité des murets de pierre sèche.



*Jugé non nécessaire du fait des impacts résiduels négligeables du projet.

Des mesures de réduction pour un impact résiduel non significatif

Les stations de Sabline des chaumes ont été protégées, délimitées par un balisage mis en place avant le chantier et maintenu durant l'exploitation. Il a également été décidé de ne pas éclaircir le site afin de réduire l'impact du projet sur les espèces nocturnes. Pour permettre le passage de la microfaune, les clôtures ont été surélevées de 10 à 15 cm. Le calendrier des travaux a été adapté à la biologie des espèces et le chantier a été suivi par un écologue indépendant. Afin de favoriser la restauration du site, une partie du parc a été végétalisée avec des espèces locales (mélange prairial mellifère) et l'autre partie maintenue avec une couverture minérale, favorable aux reptiles. La bande arbustive située entre le parc et la route a aussi été renforcée avec des essences locales, afin de consolider ce corridor écologique. Pour l'entretien de la végétation, après deux années de fauche mécanique tardive, un pâturage ovin a été mis en place⁽¹⁾.

L'impact du déboisement a été jugé faible du fait de l'importance du massif forestier dans et autour de la zone d'étude, les espèces forestières retrouvant ainsi leurs habitats tout autour du site. De plus, dans ce contexte fortement boisé, l'ouverture du milieu et la création de lisière créent de nouveaux habitats favorables à certaines espèces. Au final, les impacts résiduels du projet après les mesures d'évitement et de réduction n'étant pas significatifs, le projet n'a été soumis à aucune mesure de compensation.

Des suivis annuels permettant d'ajuster les mesures

Trois années de suivi et de contrôle des taxons, sur la base des enjeux définis lors de l'état initial, ont permis d'évaluer les mesures mises en œuvre et de les ajuster. Principaux résultats ? "La Sabline des chaumes s'est développée, y compris à l'intérieur du parc. Ce qui nous a amenés, après la première année de suivi, à protéger (avec une clôture) ces nouvelles stations d'éventuels piétinements et de l'entretien pastoral, explique Camille Rolin. La végétalisation a permis de reconstituer un habitat de prairie : le nombre d'espèces végétales observées est ainsi passé de 110 l'année suivant la mise en place de la centrale à 169 trois ans après. Une valeur qui se rapproche des 190 espèces observées lors de l'état initial. On a aussi retrouvé quelques espèces exotiques envahissantes, aujourd'hui attentivement suivies. Lors de la troisième année, nous avons eu aussi la bonne surprise de retrouver sur le site le Lézard ocellé, une espèce à fort enjeu de protection".

⁽¹⁾ La pression de pâturage a été au maximum de 70 brebis dans l'ensemble du parc (pendant les périodes de forte pousse de la végétation, printemps et automne) - ce qui représente entre 7 et 8 brebis/ha soit 1.3 UGB/ha. Cette pression a été déterminée pour maîtriser la hauteur de végétation en la maintenant sous les panneaux, tout en préservant une hauteur inférieure à 50 cm, compatible avec les enjeux incendie et l'habitat de nidification de l'Alouette lulu.

DES EXCLOS PROTÉGÉS DU PÂTURAGE POUR FAVORISER LA NIDIFICATION DE L'ALOUETTE LULU

En 2022, la fauche mécanique a été remplacée par du pâturage ovin. Une méthode qui diminue le risque de mortalité pour l'avifaune qui niche au sol, à condition de conserver un couvert végétal adapté. En effet l'Alouette lulu, par exemple, a besoin de touffes d'herbes plus hautes pour installer son nid. À cet effet, quatre exclos de 50 m² situés à l'intérieur de la zone d'implantation des panneaux, ainsi qu'un grand exclos (5.600 m²) situé dans la zone du parc exempte de panneaux (le long de la route), ont été préservés du pâturage. Aujourd'hui, cinq couples d'Alouette lulu et deux couples de Tarier pâtre se reproduisent dans la centrale. "Dans le grand exclos, nous avons observé en 2022 un couple d'Alouette lulu avec trois juvéniles", précise Camille Rolin. Preuve qu'au moins un des couples niche dans une zone préservée du pâturage.



Alouette lulu (*Lullula arborea*)

RETOUR D'EXPÉRIENCE



Parcs de Gréoux-les-Bains

Un diagnostic initial poussé pour éviter plus de 200 ha

©ENGIE GREEN

LE PARC



Gréoux-les-Bains
Alpes-de-Haute-Provence

PUISSANCE

81 MWc

SURFACE TOTALE

178 ha

SURFACE DE COMPENSATION

399 ha

TAUX DE COUVERTURE DES PANNEAUX

Environ un tiers

HAUTEUR DES PANNEAUX

0,80 m
du sol

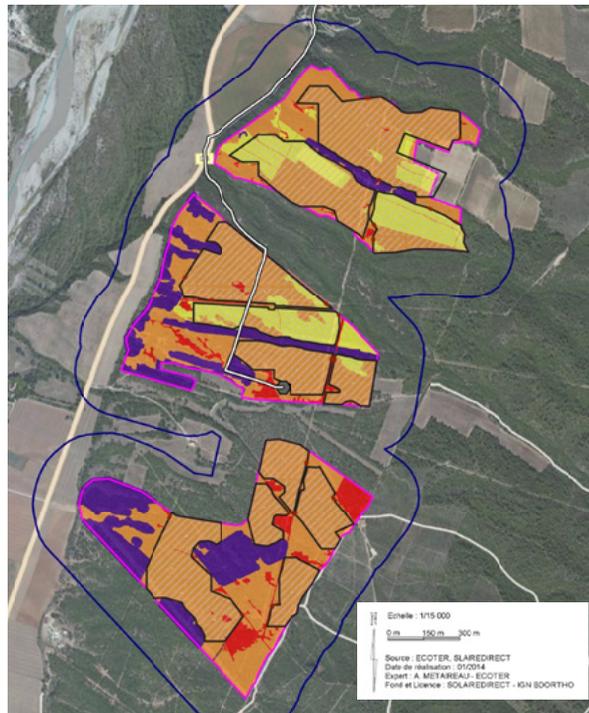
ÉCARTEMENT DES PANNEAUX

4 m
(entre 2 et 12 m selon la pente)

TYPE DE FONDATIONS

Pieux battus

Les parcs PV "Coteaux de Rousset" et "Vallongue", mis en service en juillet 2017, ont fait l'objet au préalable d'une concertation approfondie avec le département des Alpes-de-Haute-Provence, l'agglomération Durance Lubéron Verdon et la commune de Gréoux-les-Bains, ainsi que d'études environnementales poussées. C'est la qualité de ce diagnostic initial, sur une surface importante, qui a permis de bien définir l'emprise des parcs, afin d'éviter les plus forts impacts écologiques.



PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE SUR LES COTEAUX DE ROUSSET, COMMUNE DE GRÉOUX-LES-BAINS

Projection de la zone d'implantation finale sur les niveaux de contraintes liés aux enjeux écologiques

Légende

- Zones d'études**
 - Zone d'étude immédiate
 - Zone d'étude rapprochée
- Emprise et éléments du projet**
 - Clôture des parcs
 - Emprise des panneaux
 - Citernes
 - Postes de transformation
 - Tracé du raccordement
 - Portail des parcs
 - Chemins à créer
 - Poste source
- Niveaux de contraintes écologiques**
 - Majeur
 - Fort
 - Modéré
 - Faible

222 ha d'emprise évités et sécurisés

Située en dehors des zones réglementaires contraignantes, notamment du réseau Natura 2000, la zone d'étude initiale couvrait 400 ha. Majoritairement boisée, elle présentait des enjeux importants de biodiversité et de préservation de corridors écologiques. À l'issue d'une démarche itérative, la surface du projet a finalement été réduite à 178 ha, afin d'éviter les plus forts impacts sur la biodiversité. Cette stratégie se traduit même par un découpage des deux parcs en 19 entités clôturées, pour éviter (en partie) des corridors utilisés par les chauves-souris et les mammifères terrestres, mais aussi les boisements les plus matures (abritant chauves-souris et insectes saproxylophages), les pelouses méditerranéennes (favorables à des espèces patrimoniales de papillons, d'oiseaux et de reptiles), ainsi que des stations floristiques intéressantes (Violette de Jourdan, par exemple).

Fortes mesures de réduction

"Ces mesures ont été associées à des mises en défens pour protéger du chantier les zones évitées", précise Julien Rignol, expert biodiversité chez Engie Green, la société qui exploite les parcs. *"Et le chantier a été suivi durant 80 jours par un écologue indépendant afin de s'assurer que les mesures écologiques étaient bien respectées".* Le calendrier des travaux a été adapté de manière

stricte à la phénologie des espèces animales. Tous les arbres identifiés comme "gîtes potentiels" ont été abattus de manière "douce", c'est-à-dire laissés sur le sol quelques jours pour laisser la faune s'échapper. Des passages pour la petite faune sont régulièrement créés au niveau de la clôture des parcs (trouée de 20 x 20 cm tous les 25 à 50 m à la base du grillage, surélévation du grillage en raison du relief). Des gîtes à reptiles (80 tas de pierre et 80 tas de bois) ont été installés à proximité des parcs.

Une gestion écologique de 400 ha

Mais l'ensemble de ces mesures n'a pas permis de réduire suffisamment tous les impacts. Le projet a donc été soumis à des mesures compensatoires, notamment au titre de la dérogation "espèces protégées" (Molinie tardive, Engoulevent d'Europe, chiroptères, etc.). Cette compensation prend la forme d'une gestion écologique conservatoire de 399 ha à proximité des parcs. *"Cette zone de compensation va bientôt être classée en arrêté préfectoral de protection de biotope (APPB), ce qui lui permettra d'être protégée réglementairement,* précise Julien Rignol. *Dans cette zone de compensation, des actions de restauration écologique ont déjà été réalisées, comme la création de mosaïques de milieux ouverts et semi-ouverts favorables à la biodiversité (via l'abattage d'arbres ciblés) ou la création de lisières et de mares".*

CONCILIER GESTION ÉCOLOGIQUE ET RISQUE INCENDIE

Cette gestion écologique est suivie annuellement par un comité de pilotage qui réunit toutes les parties prenantes (DDT, DREAL, CSRPN, CEN, Parc naturel du Verdon, propriétaires fonciers, RTE, FNE, etc.). Un atout pour ajuster les actions d'une année sur l'autre, au sein du parc et de la zone de compensation, à la lumière des résultats des suivis écologiques. Pour l'heure, les chauves-souris n'ont pas encore été étudiées, mais les retours sur les habitats naturels, la flore, les reptiles, les oiseaux ou les insectes montrent que toutes les espèces protégées sont bien présentes. Certaines se sont même développées à l'intérieur du parc, comme la Molinie tardive.

"L'adéquation entre la gestion écologique et la gestion du risque incendie, dans un contexte de modification réglementaire, a sans doute été la partie la plus difficile du projet", estime Julien Rignol. Les modalités d'entretien du parc ont en effet dû être ajustées pour garantir le respect de la nouvelle réglementation locale en matière de risque incendie, avec notamment une bande de débroussaillage de 50 mètres autour du parc. Un aléa qui a d'ailleurs conduit in fine à renforcer la surface de compensation.



©ECOTER / DRYOPTERIS
Couleuvre de Montpellier
(*Malpolon monspessulanus*)

COMPENSER LES IMPACTS

Les mesures de compensation ont pour objectifs d'apporter une contrepartie aux incidences du projet sur l'environnement qui n'ont pu être évitées ni suffisamment réduites, et de maintenir voire de rétablir la qualité environnementale et les fonctions écologiques associées aux milieux naturels. Elles visent l'absence de perte nette voire un gain de biodiversité, et l'opérateur est assujéti à une obligation de résultat.

■ Quelles mesures ?

Une mesure de compensation est en priorité une action de restauration, de réhabilitation ou de création de milieux naturels. Ces travaux de génie écologique visent à remettre à niveau des fonctions physiques et biologiques altérées (restauration) ou disparues (réhabilitation). Les pratiques de gestion de milieux naturels visant un gain de biodiversité sont également éligibles à la compensation à condition que ce ne soit pas les seules mesures proposées. La loi Climat et Résilience incite les collectivités à l'identification de zones de renaturation préférentielle dans les SCoT et les PLU(i). Les mesures de compensation doivent prioritairement cibler ces zones lorsqu'elles existent et qu'elles correspondent aux enjeux du projet.

■ Les principes

Les mesures de compensation doivent respecter plusieurs principes réglementaires :

- **proportionnalité** avec les enjeux associés aux milieux naturels affectés par le projet et avec la nature, l'intensité et l'étendue des incidences ;
- **équivalence** : le gain de biodiversité doit être au moins équivalent aux pertes et cibler les mêmes composantes (espèces, habitats, fonctions) que celles détruites ou altérées ;
- **proximité géographique et temporelle** par rapport au site affecté ;
- **faisabilité** technique ;
- **efficacité** : la mesure doit permettre d'atteindre les objectifs écologiques visés, être suivie dans le temps et ajustée si besoin ;
- **plus-value écologique** : la mesure doit générer un gain écologique qui n'aurait pu être atteint en son absence ;

- **additionnalité** : la mesure s'ajoute aux actions publiques et ne peut compenser les impacts de différents projets ;
- **pérennité** : les mesures doivent être effectives durant toute la durée des atteintes ;
- **cohérence et complémentarité** entre les différentes mesures proposées pour un même projet au titre de différentes réglementations.

■ Méthodes et outils

La définition d'une mesure de compensation exige de suivre des étapes successives et itératives :

- caractériser les composantes environnementales du site affecté par le projet et les incidences résiduelles significatives ;
- évaluer les pertes de biodiversité (directes, indirectes et cumulées) ;
- caractériser les composantes environnementales du site de compensation et vérifier son éligibilité ;
- évaluer les gains de biodiversité issus des actions envisagées ;
- ajuster la proposition de compensation en tenant compte des pertes intermédiaires et en vérifiant l'équivalence quantitative entre pertes et gains de biodiversité.

Le centre de ressources "ERC" de l'OFB présente différentes approches pour dimensionner et mettre en œuvre une mesure de compensation. Le guide de dimensionnement des mesures compensatoires réalisé par le ministère en charge de l'écologie, l'OFB et le CEREMA fait aussi référence⁽¹⁾.

⁽¹⁾ "Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique", Ministère de la Transition écologique, 2021

RÉALISER UN SUIVI ENVIRONNEMENTAL

La réalisation de suivis environnementaux est essentielle pour évaluer l'efficacité et la pérennité des mesures ERC, et les ajuster si nécessaire. Mais aussi pour améliorer les connaissances sur les incidences, et les moyens d'y remédier. Elle passe par l'utilisation de protocoles adaptés aux mesures mises en œuvre, de préférence des protocoles BACI (before/after control impact) ciblés sur les espèces, les habitats et les fonctions à enjeux.

La loi pour la reconquête de la biodiversité du 8 août 2016 a rendu obligatoire le dépôt des données d'état initial et de suivi dans la base de données Depobio⁽¹⁾. Aujourd'hui, les protocoles sont encore très hétérogènes. Ils gagneraient à être davantage standardisés afin de faciliter les comparaisons entre parcs PV. L'exploitation et la valorisation des données issues des suivis sont en effet capitales pour mieux appréhender les effets du développement des installations PV aux niveaux régional et national.



ÉVALUATION DE L'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ ÉCOLOGIQUE DES MILIEUX

L'indice de qualité écologique (IQE) caractérise la biodiversité à l'échelle d'un site. Il évalue les enjeux patrimoniaux, les fonctions écologiques et la diversité des espèces et des habitats. L'OFB a publié un guide méthodologique⁽²⁾, qui permet notamment de réaliser le suivi écologique d'un site. L'IQE ne remplace pas les protocoles spécifiques à l'évaluation de l'efficacité des mesures ERC. Dans le cadre du projet PIESO, une boîte à outils fournissant un cadre pour optimiser les suivis a été développée.

Le cadre réglementaire

Pour les projets soumis à étude d'impact (au moins 1 MW au sol, en deçà au cas par cas en fonction des enjeux locaux), les conditions de mise en œuvre des suivis (calendrier, protocole, indicateurs) sont inscrites dans les actes d'autorisation. Les suivis sont proportionnés à la nature et aux dimensions du projet, à l'importance des incidences prévues et à la sensibilité des milieux. Ils permettent d'évaluer l'efficacité des mesures ERC et de les ajuster si besoin.



Ophrys (*Ophrys sp.*)

⁽¹⁾ Plateforme de saisie et de versement de données de biodiversité permettant l'agrégation, la normalisation et le dépôt des données d'observations de biodiversité contribuant à l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)

⁽²⁾ OFB, 2021, Indice de qualité écologique (IQE) - Indice de potentialité écologique (IPE) - Guide méthodologique

RETOUR D'EXPÉRIENCE



LE PARC



Hourtin
Gironde

Nouvelle Aquitaine

PUISSANCE

41,2 MWC

SURFACE TOTALE

73 ha

SURFACE DE COMPENSATION

173 ha

TAUX DE COUVERTURE DES PANNEAUX

31,6 %

HAUTEUR DES PANNEAUX

0,80 m du sol

ÉCARTEMENT DES PANNEAUX

4,4 m

TYPE DE FONDATIONS

Pieux battus

Lacs médocains

Une compensation qui atteint ses objectifs

Tout commence en 2010, lorsque la mairie d'Hourtin lance un appel à projets pour construire un parc photovoltaïque sur un site de 145 ha de landes à Molinie (plante des sols humides), qui se sont développées suite à la destruction des plantations de pins par les tempêtes (1999, etc.). L'étude d'impact identifie des enjeux écologiques forts, liés à la présence de zones humides et d'habitats d'espèces protégées : landes à Molinie accueillant la reproduction du Fadet des laïches (papillon), landes arbustives à Fauvette pitchou (oiseau), Rossolis intermédiaire (plante carnivore), trous de bombes favorables aux amphibiens...

La moitié du site initial évitée

Le parc "Lacs médocains" est finalement construit et mis en service en 2017. Divisé en cinq entités clôturées, il s'étend sur 73 ha. Près de la moitié du périmètre initial a été ainsi évité et notamment plus de 40 ha de landes à Molinie, un réseau de crastes (fossés végétalisés), des trous de bombes, des linéaires d'arbres feuillus favorables aux insectes et des landes arbustives.

La réduction a concerné les impacts en phase chantier (adaptation du calendrier de travaux pour éviter la période de reproduction de la faune, phasage des travaux) et la gestion du parc (entretien de la végétation par fauche tardive puis pâturage ovin, surélévation des clôtures pour permettre le passage de la petite faune).



Une compensation sur 173 ha

"Mais même après la mise en place des mesures d'évitement et de réduction, il restait des impacts résiduels significatifs, ce qui imposait une compensation", souligne Jérôme Dumont, responsable environnement au sein de Baywa RE, la société qui exploite la centrale. Le projet impacte en effet 64 ha de zones humides et plusieurs espèces protégées, ce qui a conduit à fixer la surface de compensation à 173 ha : 39 ha à proximité du parc et 134 ha sur les rives est de l'Étang d'Hourtin (parcelle du Palu de Molua et marais associés à la berle de Lupian). Le choix des sites, les travaux de compensation et le suivi environnemental ont été menés par le SIAEBVELG, le syndicat mixte qui gère les sites Natura 2000 sur le bassin versant. Une convention d'engagement a été signée et un plan de gestion validé par les services de l'État.

D'importants travaux de restauration

Les travaux de compensation ont commencé par la restauration écologique et la reconnexion hydraulique du secteur de la berle de Lupian et de ses marais attenants : recréation de méandres au niveau du cours d'eau et mise en place d'embâcles. Pour rouvrir les milieux, les travaux ont aussi inclus de nombreuses coupes de pins, des débroussaillages, des passages de rouleau brise-fougère, des décapages ponctuels et un entretien par pâturage. Après cinq ans de travaux de restauration, il s'agit désormais d'entretenir les milieux, notamment avec du pâturage ovin itinérant et des débroussaillages ponctuels. La gestion étant adaptative, des ajustements sont réalisés tous les ans en fonction des résultats et des besoins.



Suivi floristique et faunistique

Un suivi environnemental est réalisé par le SIAEBVELG tous les ans depuis 2017, avec une cartographie permettant de comparer à l'état initial (avant compensation) et de suivre les évolutions.

Il concerne l'ensemble des groupes taxonomiques avec des espèces cibles ("parapluies") définies : Fadet des laïches pour les landes à Molinie, Fauvette pitchou pour les landes arbustives et Rossolis intermédiaire pour les milieux ouverts.

Fadet des laïches
(Coenonympha oedipus)

DE TRÈS BONS RÉSULTATS

Les résultats sont validés tous les ans depuis 2017 par un comité de suivi constitué d'acteurs locaux (DREAL, DDT, ONF, CEN, OFB, SIAEBVELG, mairie d'Hourtin, etc.).

"Sur les sites de compensation, on constate une extension forte des landes à Molinie et une augmentation des populations de Fadet des laïches, précise Jérôme Dumont. Le papillon est également présent sur la centrale et aux abords. Le nombre de stations de Rossolis intermédiaire a aussi augmenté et les populations de Fauvette pitchou tendent à se développer". Quant au secteur évité de trous de bombes, il héberge de belles populations d'amphibiens dont le Triton marbré et le Crapaud calamite, et une libellule rare, la Leucorrhine à front blanc. Il a même été observé, au sein même du parc, la nidification du Courlis cendré, un oiseau limicole (qui niche au sol près des points d'eau).

AMÉLIORER LES CONNAISSANCES ET FAVORISER L'ÉCOCONCEPTION

Entretien avec Véronique de Billy, coordinatrice EnR et biodiversité à l'OFB, et Thomas Eglin, chargé de mission EnR et impacts environnementaux à l'ADEME.

Quelles sont aujourd'hui les perspectives pour mieux intégrer la biodiversité dans les projets solaires photovoltaïques (PV) ?

Thomas Eglin (T.E.) : Les interactions du PV avec son environnement sont encore assez méconnues. Il existe un réel besoin d'améliorer la connaissance de leurs incidences sur les sols, la biodiversité et leurs fonctions écologiques, notamment les plans d'eau, les zones humides, la faune volante, etc. Avec le fort développement du PV, la question des impacts cumulés à l'échelle territoriale et avec les autres activités humaines mérite également d'être creusée. Il s'agit donc de développer des programmes de recherche et de renforcer l'homogénéisation et le partage des données de suivi, pour en tirer des enseignements sur les incidences et les solutions à y apporter qui bénéficieront à tous.

Véronique de Billy (V. d.B.) : À l'instar de l'éolien terrestre, le développement de protocoles standards de suivi des incidences du PV et de l'efficacité des mesures ERC mises en œuvre alimenterait cette connaissance. Dans l'immédiat, les développeurs versent leurs données de suivi sur la plateforme Depobio⁽¹⁾. Mais celles-ci sont peu exploitables car trop hétérogènes et ne permettent pas de comparer les situations avant / après projets. L'exploitation de ces données nécessite des moyens pour la recherche scientifique qui gagneraient à être développés par exemple dans le cadre d'un observatoire dédié.

⁽¹⁾ Plateforme nationale de dépôts des données de biodiversité liées aux études d'impacts et aux projets d'aménagement

⁽²⁾ Réseaux d'interactions et Multifonctionnalités Écologiques : Développement et validation de deux approches complémentaires d'intégration environnementale pour une énergie photovoltaïque vertueuse



T. E. : Le projet REMEDE⁽²⁾, qui vise à évaluer scientifiquement les impacts du PV sur les fonctions écologiques des sols et à définir des stratégies de gestion du couvert végétal, va dans ce sens. Plusieurs dizaines de centrales PV seront ainsi étudiées avec un protocole commun et des stations témoins. Plusieurs développeurs sont impliqués dans ce projet, porté par l'Institut méditerranéen de biodiversité et d'écologie (IMBE). Ce type d'études est à encourager.

Comment favoriser l'écoconception des parcs ?

V. d.B. : Favoriser la conception de projets PV plus vertueux pour la biodiversité implique d'accompagner techniquement les acteurs de cette filière à l'aide d'outils adaptés (guides, formations, etc.). D'où l'idée de créer un centre national de ressources (CDR), réunissant les différentes parties prenantes (services de l'Etat, financeurs, développeurs, chercheurs, ONG environnementales, collectivités).

T. E. : Ce CDR sera lancé en 2023. Piloté par l'OFB et l'ADEME, il permettra de capitaliser et de valoriser les meilleurs retours d'expériences. Des guides techniques d'appui à l'écoconception des parcs PV seront également réalisés.



Grenouille verte (*Pelophylax sp.*)

Que recouvre ici la notion d'écoconception ?

V. d.B. : Ici, nous complétons la notion européenne d'écoconception des modules solaires PV (optimisation du recyclage) par celle d'une application vertueuse de la séquence ERC lors de la planification, de la conception et de l'exploitation des centrales. Cela suppose une démarche itérative où l'évitement des incidences est prioritaire, avant leur atténuation. Cela suppose en amont de comparer objectivement différents scénarios de développement de ces projets, afin d'identifier les sites et emprises de moindre impact. En termes de réduction et à l'instar des alternatives technologiques développées pour l'agrivoltaïsme, des efforts restent à faire en matière de contension périmétrale, de dimensionnement et de densité des panneaux, de gestion de la végétation, etc. pour les centrales installées en milieux naturels. Efforts qui permettraient de diminuer d'autant le besoin de compensation.



Cerf (*Cervus elaphus*)



Renforcer les partenariats avec la recherche : l'exemple de l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme est une nouvelle filière. Il reste à identifier les meilleurs systèmes maintenant une production agricole et énergétique. L'Inrae a mis en place un partenariat avec des développeurs : ces derniers fourniront leurs données et en retour, l'Inrae apportera une information utile issue de ses recherches. Un bel exemple de partenariat public-privé mutualisant les coûts et favorisant l'innovation vers des projets plus vertueux.

©SUN AGRI

BIBLIOGRAPHIE



Pipistrelle commune (*Communis pipistrelle*)

Documents sources

- ADEME, "Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles", recueil de retours d'expériences et fiches techniques récapitulatives, 2022
- ADEME, "État de l'art des impacts des énergies renouvelables sur la biodiversité, les sols et les paysages, et des moyens d'évaluation de ces impacts", 2022
- CNDP, "Compte-rendu du débat public relatif à la plateforme photovoltaïque HORIZEO", 2022
- FNE, "Photovoltaïque – Enjeux et Impacts. Note de synthèse", 2022
- Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, 2019
- LPO, "Centrales photovoltaïques & Biodiversité : Synthèse des connaissances sur les impacts potentiels et les moyens de les atténuer", 2022
- MEDDTL, "Installations photovoltaïques au sol – Guide de l'étude d'impact", 2011
- Ministère de la Transition écologique et solidaire, "Stratégie française pour l'énergie et le climat – Programmation pluriannuelle de l'énergie. 2019-2023 et 2024-2028", 2020
- OFB, "Solaire photovoltaïque et Biodiversité : Synthèse de la littérature scientifique et Points de vigilance", 2022
- Projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, version adoptée par le Sénat le 7 février 2023

Autres documents cités dans le guide

- ADEME, "Transition(s) 2050", 2022
- CGDD, CEREMA, "Préconisations relatives à l'évaluation environnementale stratégique, note méthodologique", 2015
- ECO-MED, "Guide PIESO - Guide technique d'éco-conception des centrales photovoltaïques", 2020
- Enerplan, SER, "Photovoltaïque et biodiversité : exploitation et valorisation de données issues de parcs photovoltaïques en France", 2020
- IPBES, "The global assessment report on biodiversity and ecosystem services", 2019
- OFB, "Indice de qualité écologique (IQE) - Indice de potentialité écologique (IPE) - Guide méthodologique", 2021
- OFB, CGDD, CEREMA, "Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique", 2021
- négaWatt, "Scénario négaWatt 2022", 2022
- RTE, "Futurs énergétiques", 2021

REMERCIEMENTS

- ADEME : **Pierre Rale**, ingénieur photovoltaïque ; **Céline Mehl**, coordinatrice du pôle Solaire ; **Stefan Louillat**, chef du service électricité renouvelable et réseau ; **Jean-Michel Parrouffe**, expert national Énergie.
- CEREMA : **Mylène Goux**, directrice de projet approches environnementales intégrées ; **Myriam Lorcet**, responsable d'activités et d'études énergies renouvelables terrestres ; **Manon Martin**, directrice de projets Sols et Aménagement.
- DREAL Auvergne-Rhône-Alpes : **Anne-Sophie Musy**, coordinatrice sur les énergies renouvelables au sein du pôle climat, air, énergie.
- Enerplan : **David Greau**, directeur général.
- France Nature Environnement : **Adeline Mathien**, cheffe de projet Transition énergétique ; **Stéphanie Morelle**, animatrice du réseau Biodiversité.
- Ligue pour la Protection des Oiseaux : **Geoffroy Marx**, responsable du programme énergies renouvelables et biodiversité.
- Ministère de la transition énergétique : **Alexandre Pasquié**, direction générale de l'énergie et du climat ; **Michel Perret**, chargé de mission auprès du sous-directeur des écosystèmes terrestres à la direction de l'eau et de la biodiversité.
- PatriNat : **Chloé Thierry**, chargée de mission enjeux de biodiversité et partenariat.
- Office Français de la Biodiversité : **Véronique de Billy**, coordinatrice "énergies renouvelables et biodiversité".
- Syndicat des énergies renouvelables : **Julie Fraix**, chargée de mission biodiversité ; **Lucas Robin-Chevallier**, pilote du GT Biodiversité ; **Jérémy Simon**, délégué général adjoint.
- Comité français de l'UICN : **Isabella Rubini**, chargée de Mission "énergies renouvelables et biodiversité".

RETOUR D'EXPÉRIENCE

- Baywa RE : **Jérôme Dumont**, responsable environnement du projet.
- Compagnie Nationale du Rhône : **Camille Rolin**, ingénieure environnement.
- Engie Green : **Julien Rignol**, expert biodiversité.
- Enolya : **Claude Guerin**, co-développeur du projet.
- Sun'Agri : **Jérémy Roche**, chargé d'études écologiques.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME – l'Agence de la transition écologique –, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de la Transition énergétique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Les collections de l'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur :

Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert :

Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent :

Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir :

Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



RÉSUMÉ

Le déploiement des énergies renouvelables est l'un des moyens majeurs d'atteindre la neutralité carbone et de réduire notre dépendance énergétique. Le solaire photovoltaïque, en particulier, est appelé à jouer un rôle majeur dans la transition en cours.

Lorsqu'elles sont implantées dans des milieux naturels, les centrales photovoltaïques peuvent avoir des incidences négatives significatives sur les sols et la biodiversité. Ces incidences et les moyens de les éviter (E), de les réduire (R) ou à défaut de les compenser (C) sont de mieux en mieux connus, et peuvent d'ores et déjà être pris en compte lors de la planification, de la conception, puis de l'exploitation de ces centrales.

Fruit d'un partenariat entre l'ADEME et l'OFB, ce document dresse un état des connaissances des incidences et propose des solutions visant à y remédier. Des retours d'expérience illustrent leur mise en œuvre concrète à l'échelle de différents projets, sans en occulter les difficultés.

Réalisé avec la contribution d'acteurs concernés par le développement de ces projets (Ministère la transition écologique et de la cohésion des territoires; DREAL ; CEREMA ; Syndicats professionnels SER et Enerplan ; ONG en charge de la protection de l'environnement, dont LPO, FNE, Comité français de l'UICN ; Muséum national d'Histoire naturelle), il ambitionne de fournir une base commune et partagée des enjeux d'écoconception des centrales solaires photovoltaïques.

Il sera complété à partir de 2023 de guides techniques à destination des professionnels, dont le premier concernera les modalités d'installation des clôtures des parcs.

