

Énergies renouvelables et biodiversité

Incidences des énergies renouvelables sur la biodiversité: concilier transition énergétique et vivant

03 novembre 2025

Dr. Aurélie QUINARD

aurelie.quinard@fondationbiodiversite.fr

Chargée de mission « Efficacité mesures impact éolien photovoltaïque »

Introduction – Une transition énergétique accélérée

La transition énergétique s'accélère :

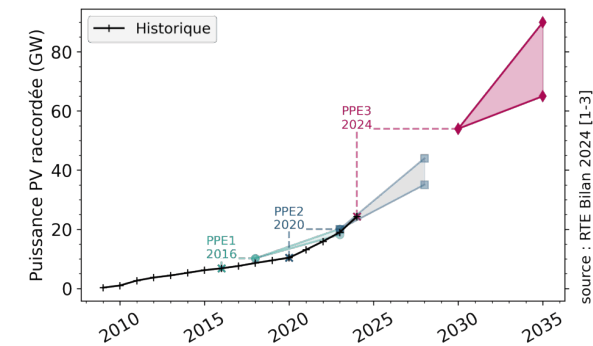
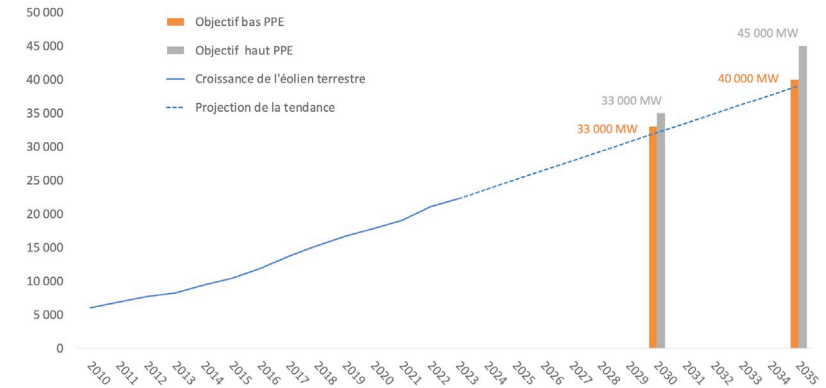
- **Objectif 2035:**

→ **40 À 45 GW** pour l'éolien terrestre (x 2)

→ **65 à 90 GW** pour le photovoltaïque (x 3 mini)



- Des projets qui s'implantent partout :
→ En plaine, en forêt, en zones agricoles



Mais une question essentielle se pose :
Quels effets ces infrastructures ont-elles sur le vivant ?

Introduction – Une biodiversité en déclin



-28 % d'oiseaux
communs en 30 ans
en France



-80 % d'insectes
volants en Europe
depuis les années 1990



-50 % de Noctules communes
en moins de 20 ans en France

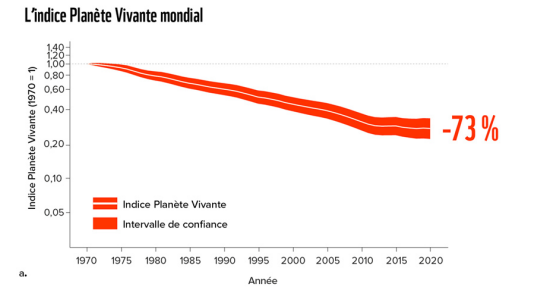


Figure 1.4 (a) Indice Planète Vivante mondial de 1970 à 2020, basé sur 34 836 populations suivies de 5 495 espèces de vertébrés. La ligne blanche indique la valeur de l'indice et les zones colorées représentent l'incertitude statistique entourant cette valeur.

-73 % de vertébrés
sauvages dans le monde
depuis 1970



Nous perdons les conditions d'équilibre des écosystèmes

Introduction – Énergies renouvelables & vivant : une relation complexe

 Même dites « propres », les ENR **ne sont pas neutres pour la nature**

- modifient les paysages, les usages, les habitats
- affectent la faune et la flore de manière **directe** ou parfois de manière

insidieuse

Peut-on concilier transition énergétique et préservation du vivant ?

Ce que nous allons explorer, à partir de la littérature scientifique:

- *Éolien terrestre*
- *Photovoltaïque au sol*
- *Quelques éléments sur méthanisation*
- *Quelques éléments sur biomasse / bois-énergie*

➔ *Impacts & solutions et pistes pour diminuer ces impacts*

Éolien terrestre: impacts directs



Mortalités directes:

- **Collisions:** oiseaux, chauve-souris et insectes percutant les pales en vol
- **Barotraumatismes:** chauves-souris victimes de lésions internes causées par les variations de pression de l'air

Facteurs aggravants:

- **Effets saisonniers marqués :** mortalités accrues en période de migration
- **Variabilité selon les espèces :** certaines sont plus sensibles (diurnes/nocturnes, vol haut/bas, etc.)

Oiseaux $\approx$ 56 000 décès /an en France
dont 60% de passereaux migrateurs,
et 23% de rapaces diurnes,
81 % des cadavres appartiennent à des
espèces protégées ou préoccupantes

Chauve-souris > 100 000 décès/an en France
(Pipistrelle commune, Noctule
commune, genre *Myotis*)

**Insectes volants (peu étudiés) $\approx$ 120 000
milliards/an dans le monde**

Éolien terrestre: impacts directs

Perturbations sensorielles

- **Pollution sonore y compris infrasons** : perturbations du comportement (chasse, communication, repos, déplacements/évitements)



- **Pollution lumineuse (balisage nocturne)** :
 - Désorientation des oiseaux nocturnes
 - Attirance d'insectes modifiant les équilibres trophiques



Éolien terrestre: impacts indirects

Artificialisation et aménagements

- Création de routes, plateformes, réseaux → fragmentation du paysage
- Modification des sols, du couvert végétal, de la perméabilité écologique

Fragmentation & perturbation des déplacements

- Rupture de continuité des habitats (forêt, zones humides, milieux agricoles)
- Difficultés de déplacement pour alimentation, reproduction, migration
- Apparition d'habitats inoccupés par évitement comportemental

Évitement & perte d'habitats fonctionnels

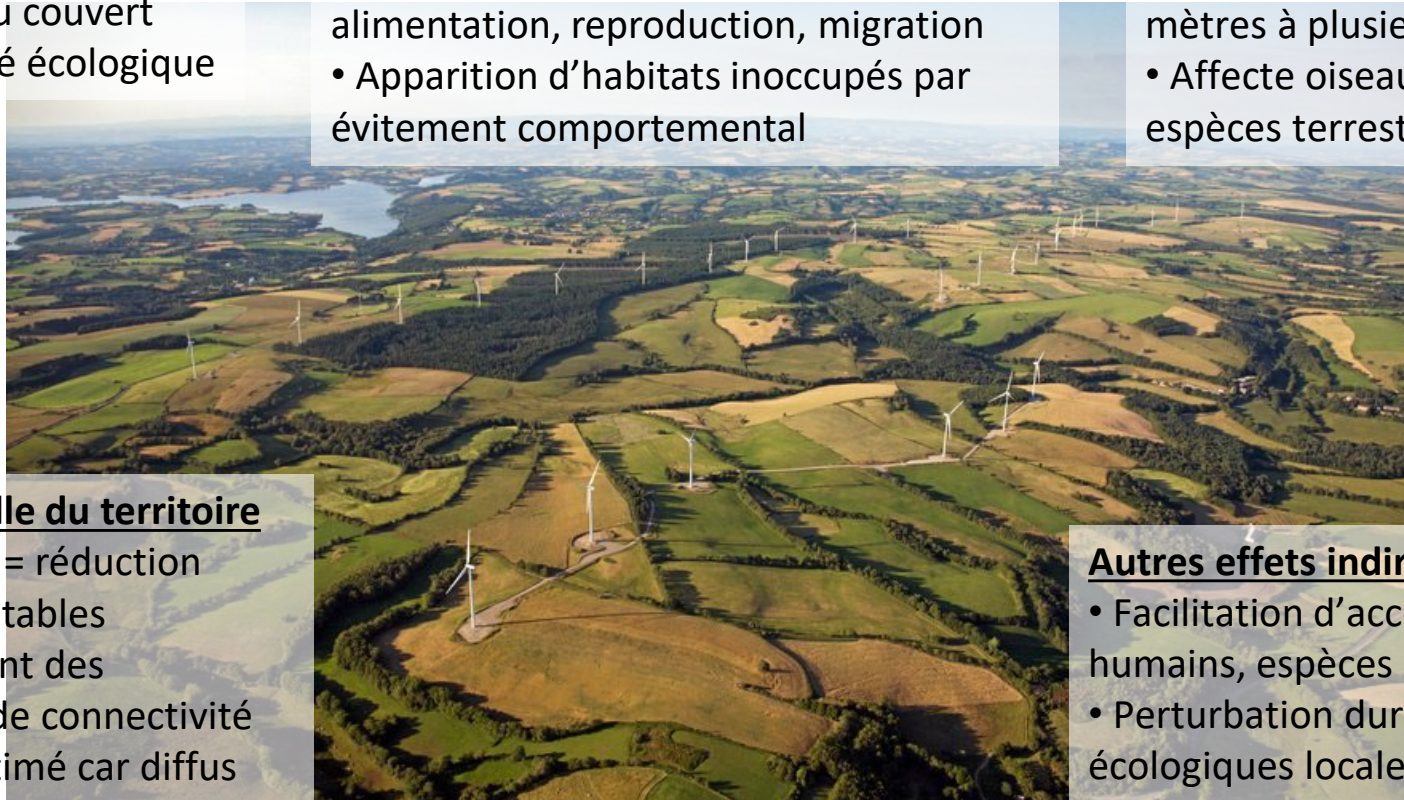
- Zones évitées par les espèces sensibles → perte d'usage écologique
- Peut s'étendre à plusieurs centaines de mètres à plusieurs kilomètres
- Affecte oiseaux, chauves-souris, et espèces terrestres mobiles

Effets cumulatifs à l'échelle du territoire

- Multiplication des parcs = réduction globale des milieux exploitables
- Risques de cloisonnement des populations et de baisse de connectivité
- Impact souvent sous-estimé car diffus

Autres effets indirects

- Facilitation d'accès pour prédateurs, humains, espèces exotiques envahissantes
- Perturbation durable des dynamiques écologiques locales



Éolien terrestre: impacts systémiques

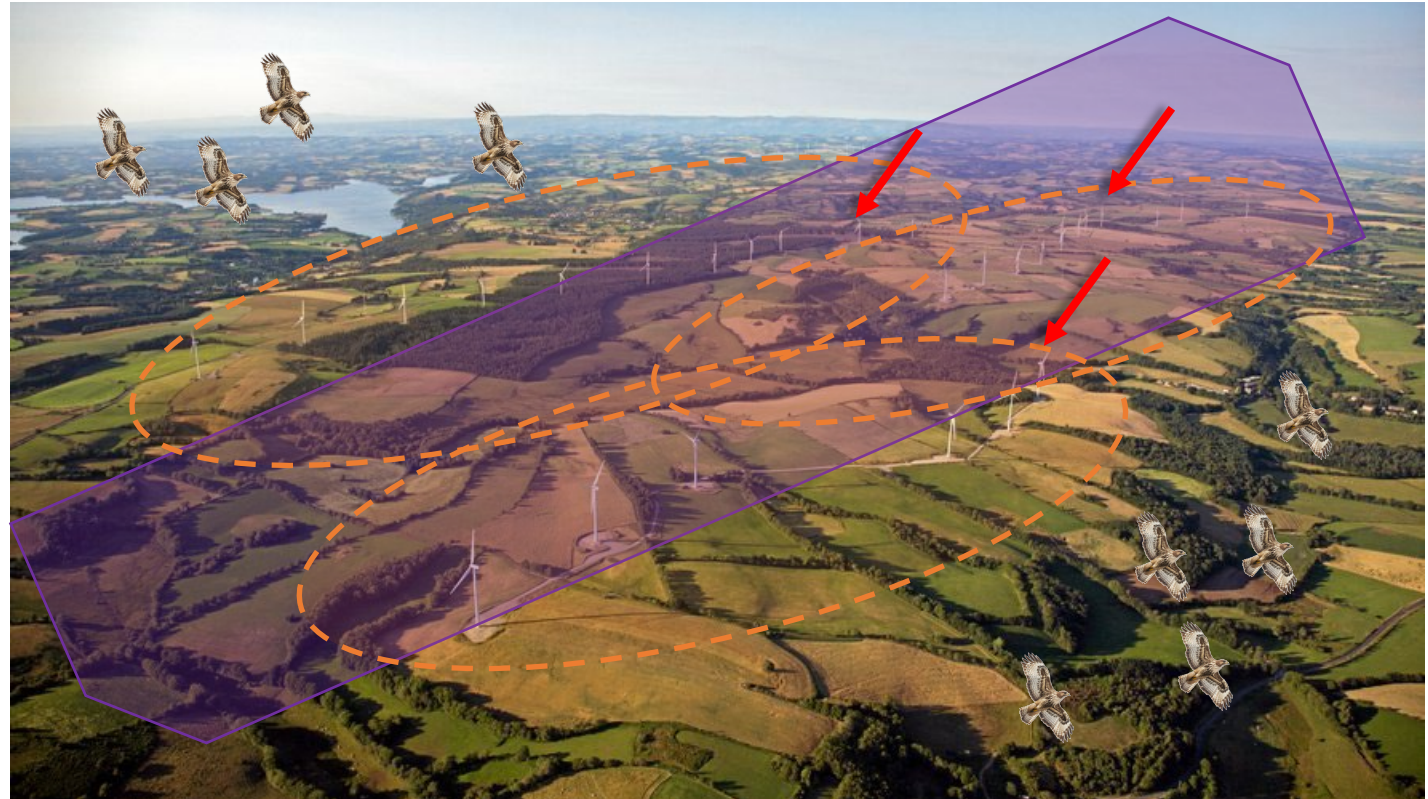
Effets cumulatifs

- Multiplication de parcs →
- Zones d'évitement se chevauchant
- Fermeture de corridors écologiques
- Fragmentation des populations → isolement, stress, perte de diversité



Perte d'habitats fonctionnels

- Espaces non détruits mais évités par la faune
- Transformation de paysages encore "intacts" en milieux non utilisables
- Impact invisible mais écologiquement majeur



Éolien terrestre: impacts systémiques

En amont

- Extraction de matériaux (béton, acier, terres rares)
- Pressions sur la biodiversité dans les zones minières (souvent tropicales)



En aval

- Transport lourd, entretien des infrastructures
- Fin de vie mal maîtrisée (pales non recyclables, impacts durables)

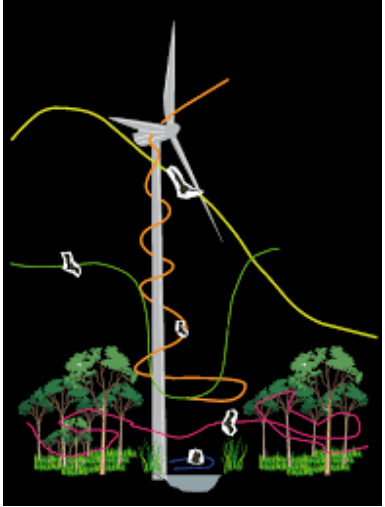


Problème de gouvernance

- Projets étudiés séparément, sans approche cumulative
- Manque de planification territoriale à long terme



Éolien terrestre: impacts sous-estimés



Attraction par agrégation d'insectes

- Les mats d'éoliennes attirent certains insectes (chaleur, lumière, turbulence)
- Entraîne la présence de prédateurs aériens (choues-souris, oiseaux insectivores)
 - Risque accru de collisions pour ces espèces + réduction des populations d'insectes

Effets subtils

- Pas de mortalité directe, mais altérations comportementales
- Réduction de l'activité de chasse (notamment chez les choues-souris)
- Risques à long terme : baisse de reproduction, stress, affaiblissement

Effets saisonniers

- Périodes de migration = pics de vulnérabilité
- Passage massif d'oiseaux et de choues-souris sur certaines routes
- Risques accrus si les turbines sont implantées sur corridors migratoires



Ces effets discrets mais réels s'ajoutent aux impacts directs et indirects :
Ils doivent être mieux intégrés dans la planification et l'évaluation environnementale

Limiter les impacts des énergies renouvelables : la séquence ERC

Une hiérarchie d'actions obligatoires

- Approche réglementaire pour limiter les impacts sur la biodiversité
- Trois niveaux successifs, à appliquer dans l'ordre



Éviter

- Étape prioritaire de la séquence
- Vise à supprimer complètement l'impact avant qu'il ne se produise
- Repose sur le principe : "Mieux vaut ne pas créer l'impact que de chercher à le corriger"
- Recommandée dans tous les guides et référentiels techniques

Réduire

- À mobiliser si l'impact ne peut pas être évité
- Objectif : atténuer l'intensité, l'étendue ou la durée des effets
- Ajustements sur le calendrier, la conception, ou les modalités du projet

Compenser

- Dernier recours, si des impacts résiduels subsistent
- Objectif : contrebalancer ces effets restants par des actions favorables à la biodiversité
- Doit être proportionnée, traçable, et durable

Éolien terrestre: mesures d'évitement & efficacité

- Supprimer l'impact en amont de toute réalisation: appliquées dès la planification du projet
- Mesures recommandées dans tous les guides de bonnes pratiques, l'efficacité reste peu quantifiée scientifiquement, mais les éléments disponibles sont positifs

Macro-siting: Choix du site = éviter les zones sensibles

- Écarter les zones à forts enjeux écologiques :
Natura 2000, ZPS, couloirs migratoires, habitats d'espèces sensibles
- S'appuyer sur les diagnostics écologiques précoces

Micro-siting: Implantation fine des infrastructures

- Positionner les éoliennes et voies d'accès en dehors des milieux sensibles (lisières forestières, zones humides, crêtes ou cols utilisés par le vol plané, etc.)



Calendrier des travaux

- Programmer les travaux en dehors des périodes sensibles (reproduction, nidification, migration)
- Réduire la durée et l'intensité des perturbations

Éolien terrestre: mesures d'atténuation & efficacité

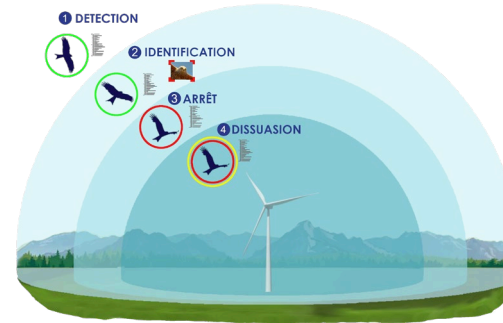
Le bridage des turbines



e.g.: 3.5 m/s.



5.0 m/s



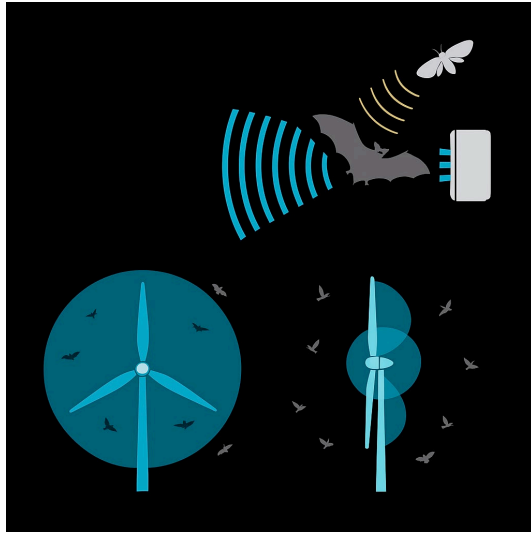
Bridage adaptatif:

- Ralentissement ou arrêt des turbines à certaines périodes clés (nuit, horaires spécifiques, météo favorable aux chauves-souris)
- **Bridage basé sur la vitesse du vent (*cut-in-speed*):** Augmenter le seuil de démarrage = réduction de 67 % la mortalité des chauves-souris en moyenne
- **Bridage saisonnier:** arrêts en période de migration (printemps / automne)

Bridage intelligent:

- Utilisation de capteurs acoustiques, thermiques ou radars
- Déclenchement automatique des arrêts si détection d'animaux
- Peut être couplé à d'autres mesures
- Systèmes prometteurs, mais efficacité encore variable selon les contextes et espèces

Éolien terrestre: mesures d'atténuation & efficacité



Dissuasion acoustique par ultrason

- Émet des ultrasons pour éloigner les chauves-souris
- Jusqu'à 75 % de réduction de la mortalité, mais efficacité très dépendante de l'espèce
- ⚠ Non autorisé en France à ce jour



Peinture des pales ou des mâts

- Modification de la couleur ou des motifs
- Études expérimentales (ex. Norvège) → réduction possible des collisions chez certaines espèces d'oiseaux
- Données encore trop limitées pour recommander largement cette mesure

Éolien terrestre: mesures de compensation & efficacité



Objectif

- Contrebalancer les impacts résiduels sur la biodiversité
- Viser une "zéro perte nette" voire un gain net de biodiversité

Types d'actions

- **Restauration ou création d'habitats naturels** pour soutenir les populations affectées
- **Protection renforcée** de milieux sensibles
- Actions de conservation ciblées (ex : programmes de reproduction en captivité et de réintroduction)
- **Compensation financières / Soutien à des programmes de conservation** (ex : gestion de zones humides, corridors)



Limites et incertitudes

- Efficacité incertaine dans la littérature scientifique
- Difficulté à garantir que les gains soient : réels, additionnels, mesurables, équivalents aux pertes
- Problèmes fréquents de décalage temporel, de suivi insuffisant ou de faible transparence



- La compensation est **nécessaire mais non suffisante**.
- Elle ne peut **remplacer l'évitement et la réduction**, et doit être **encadrée strictement et suivie dans le temps**.

Photovoltaïque au sol: impacts directs

Occupation de l'espace :

- Artificialisation partielle ou totale des sols (prairies, friches, milieux ouverts)
 - Perte et fragmentation d'habitats
 - Impact direct sur les plantes, insectes, petits vertébrés



Mortalité directe (cas rares) :

- Collisions d'oiseaux et de chauve-souris avec les structures ou les grillages
 - oiseaux aquatiques et migrateurs: « effet lac »
 - chauves-souris: pièges sensoriels (réflexions lumineuses, polarisation)
- Brûlures possibles (phénomène observé surtout en centrales thermiques)

Photovoltaïque au sol: impacts directs



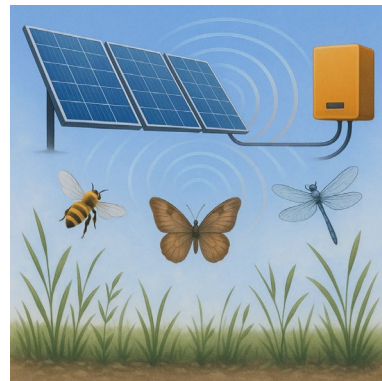
Modification du microclimat local :

- Ombrage permanent
 - changement de température et humidité du sol
 - Effets sur la faune et la flore du sol



Pollution chimique :

- Usage de phytosanitaires ou solvants pour le nettoyage
 - Pollution des sols et milieux aquatiques en aval (diversité et abondance des organismes, dégradation de la structure des sols)



Perturbations électromagnétiques (encore peu documentées) :

- Installations électriques, câbles, onduleurs
 - Potentiels effets sur les espèces sensibles (insectes)

Photovoltaïque au sol: impacts indirects

Changement d'usage des sols

→ Rupture de la connectivité écologique :

- Les parcs font obstacle aux déplacements (petits mammifères, reptiles, amphibiens)
 - Fragmentation des habitats, isolement génétique, trames altérées



Perturbations liées à l'exploitation :

- Passage de véhicules, maintenance, éclairage, bruit, surveillance
 - Stress chronique, perturbation des cycles de reproduction



Commune de Mazaugues (83): une partie du site est envahi par le Seneçon du Cap (*Senecio inaequidens*), toxique pour l'être humain, le bétail

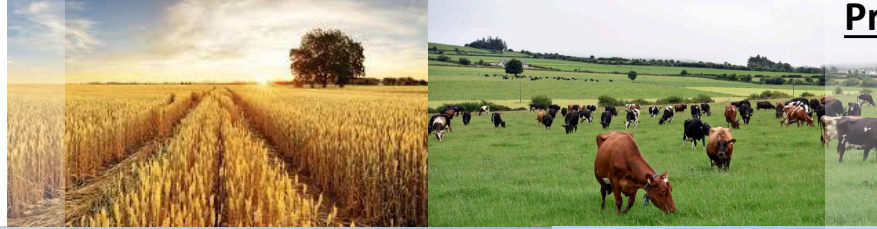
Introduction d'espèces exotiques envahissantes (EEE) :

- Par le matériel, les substrats ou le sol retourné
 - Concurrence avec les espèces locales, déséquilibres écologiques

Photovoltaïque au sol: impacts systémiques

Effets cumulatifs primaires :

Plusieurs projets sur un même territoire
→ Perte fonctionnelle d'habitats
→ Fragmentation accrue et ruptures de connectivité écologique



Projet photovoltaïque Boralex
Montagne de Lure (04)

Pression foncière croissante :

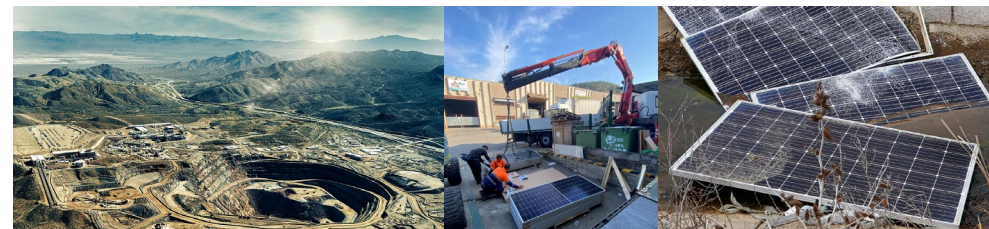
Concurrence avec agriculture, élevage extensif, conservation
→ Risque de déséquilibres territoriaux et conflits d'usage

Concentration des projets sur des milieux dits « peu productifs » :

Friches, landes, prairies souvent riches en biodiversité
→ Érosion progressive et diffuse des habitats ordinaires

Enjeux déportés dans l'espace :

Extraction de matériaux, transport, recyclage en fin de vie
→ Pressions environnementales déplacées à l'échelle globale



Photovoltaïque au sol: impacts sous-estimés

Effet miroir / effet “lac”:

Lumière polarisée attirant insectes aquatiques, oiseaux, chauves-souris

- Confusion avec une surface d’eau
- Pièges écologiques : stress, perte d’énergie, mortalité



Perturbations visuelles ou comportementales :

Espèces sensibles à la lumière, aux contrastes ou aux motifs répétitifs



Modifications microclimatiques locales :

Ombrage permanent, variations de température et d’humidité

- Effets sur la faune et la flore du sol, notamment les invertébrés

Entretien des parcs solaires:

- Consommation d’eau pour le nettoyage
- Effets résiduels des traitements chimiques utilisés



Photovoltaïque: mesures d'évitements & efficacité

Choix du site = levier majeur:

Éviter les zones à forts enjeux écologiques (prairies naturelles, milieux ouverts riches en biodiversité, corridors écologiques fonctionnels)

Ajustements intra-site possibles:

Éviter haies, zones humides, habitats d'espèces sensibles



Mesures reconnues dans les guides techniques et la pratique de terrain (manque de littérature scientifique)

Privilégier des sites déjà artificialisés ou dégradés:

Friches industrielles, anciennes carrières, parkings, délaissés agricoles

⚠ Évaluer leur valeur écologique résiduelle avant implantation

Photovoltaïque: mesures d'atténuation

Gestion écologique de la végétation → Favorise la flore, les pollinisateurs et les petits vertébrés



Fauche tardive



Pâturage extensif sous les panneaux (agrivoltaïsme)

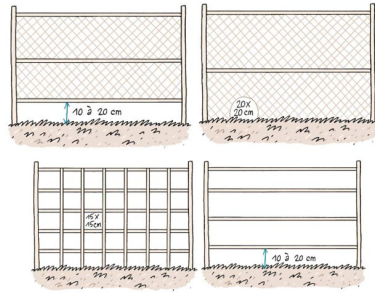


Semis d'espèces locales
(idéalement mellifères)



Maintien de bandes enherbées et de jachères

Photovoltaïque: mesures d'atténuation



Aménagements pour la faune :

- Clôtures perméables, passages pour la petite faune
- Gîtes pour oiseaux, reptiles, chauves-souris, insectes, ruches, ...



Réduction des nuisances associées :

- Éclairage nocturne limité
- Réduction des dérangements liés à la maintenance
- Évitement des produits chimiques

Maintien ou restauration d'éléments semi-naturels :

Haies, mares, bosquets, zones humides

→ Refuges pour la faune,
maintien de la
fonctionnalité écologique

Photovoltaïque: mesures d'atténuation & efficacité

Connaissances disponibles & perspectives

Deux mesures mieux documentées à ce jour :

- **Texture/motif des panneaux pour limiter l'effet « lac » chez les insectes**



How to disguise evolutionary traps created by solar panels

Theodore V. Black¹, Bruce A. Robertson¹

Received: 23 July 2019 / Accepted: 20 October 2019

© Springer Nature Switzerland AG 2019

Abstract Photovoltaic panels are the most rapidly growing source of sustainable energy, but are also sources of polarized light pollution that can mislead aquatic insects into thinking they represent natural waterbodies. Aquatic insects are commonly attracted away from natural water bodies to lay their eggs upon solar panels where they fail to hatch, a phenomenon called an evolutionary trap. Previous work demonstrates that the addition of white, non-polarizing gridding with 2–20 mm line width to solar panels can effectively “disarm” this type of evolutionary trap, rendering it less attractive to three families of aquatic insects. However, the geographic and taxonomic breadth of the efficacy may be limited, and the economic cost associated with reducing the black solar-active area of solar panels has not yet been quantified. We designed a field experiment to test whether line width or density is more important in reducing the maladaptive attraction of aquatic insects to simulated solar panels, and expanded the geographic and taxonomic breadth of testing this approach to disarming evolutionary traps. We found that line width could be manipulated to strongly reduce attraction by all taxa. The effective line width was between 1 and 5 mm, indicating that solar panel-induced evolutionary traps can be disarmed with a more modest reduction in solar-active area than was previously assumed. Interruption of attraction through the addition of non-polarizing surface patterns appears to be a fundamental aspect of aquatic insect interpretation of environmental polarized light signals that can be used to disguise evolutionary traps.

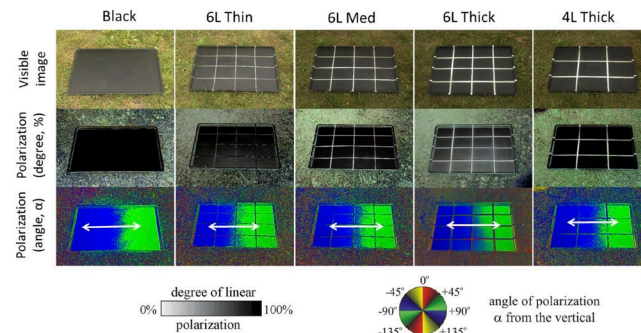
Keywords Ecological trap · Aquatic insect · Photovoltaic · Solar energy · Maladaptation · Conservation behavior

Introduction

Evolutionary traps are scenarios in which animals are fooled by rapidly changing conditions into preferring poor-quality resources over those that are superior in terms of survival or reproduction (Schlaepfer et al. 2002). They occur because the environmental cues that animals have evolved to inform their decision-making are no longer reliable and actually lead to the most fitness-negative behavioral option available (Robertson et al. 2013). Animals come to prefer inferior mates, foods, habitats, nest sites or other resources. Evolutionary traps result in rapid population declines (Fletcher et al. 2012) and have recently helped explain continent-wide declines in European honey bees (*Apis mellifera*; Kessler et al. 2015; Rundlöf et al. 2015), and monarch butterflies (*Danusa plexippus*; Fiallyn et al. 2018), and led to the

extirpation of a population of Edith's checkerspot butterfly (*Euphydryas edithae*; Singer and Parmesan 2018) and the near extinction of Be'er Sheva fringe-fingered lizard (*Acanthodactylus brevipinnatus*; Haskins et al. 2010). A disproportionately high fraction of globally endangered species have at least one of their populations caught in an evolutionary trap, indicating that traps are a key consideration in efforts to stabilize populations and prevent species extinctions (Robertson and Blumstein 2019).

The most well-understood example of an evolutionary trap occurs when smooth, dark-colored man-made objects (e.g. asphalt; Kriksa et al. 1998; glass buildings; Kriksa et al. 2008), strongly and horizontally polarize reflected sunlight, mimicking the environmental cue most aquatic insects rely upon to identify waterbodies suitable for oviposition (reviewed in Horváth and Vajta 2004). Artificial polarizers can polarize light to a greater degree (90–100%) than any natural water body ($d \approx 30$ –80%; Horváth and Vajta 2004) and water-seeking aquatic insects are preferentially attracted to oviposit upon these supernaturally polarized light sources



✉ Bruce A. Robertson
broberts@hard.edu
¹ Division of Sciences, Mathematics and Computing, Bard College, Annandale-on-Hudson, NY 12504, USA

- **Gestion écologique de la végétation (notamment pour les pollinisateurs)**

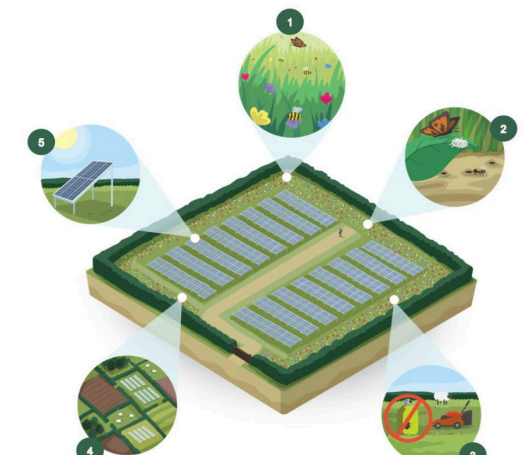


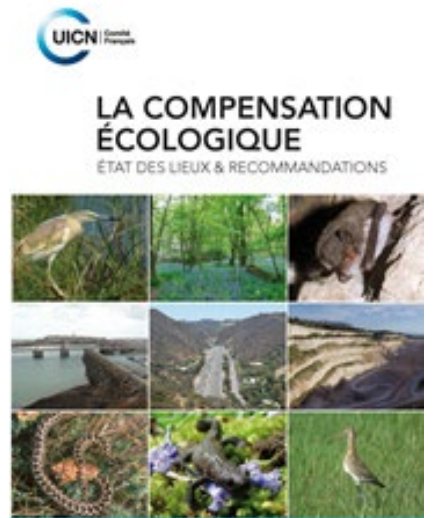
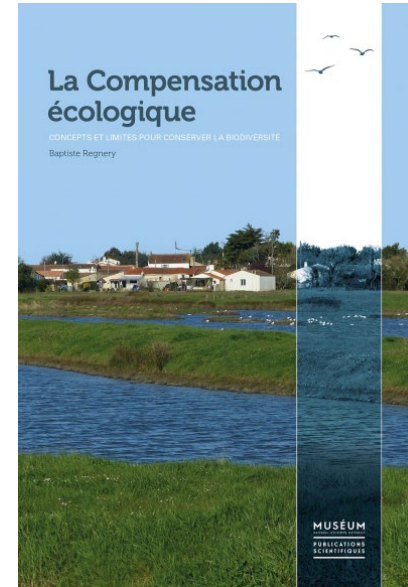
Fig. 3 Illustration depicting the potential for solar parks to enhance pollinator biodiversity through (1) providing foraging resources, (2) providing nesting, breeding and reproductive resources, (3) undertaking suitable management practices, (4) increasing semi-natural habitat in the landscape and promoting connectivity and (5) generating microclimatic variation on solar parks.

Autres mesures = efficacité encore peu ou pas évaluée scientifiquement
→ Besoin de protocoles de suivi standardisés pour objectiver leur effet réel

Photovoltaïque: mesures de compensation

- Mesures possibles en dernier recours, comme pour l'éolien
- Même logique et types d'actions :
 - Restauration ou création d'habitats
 - Renforcement de continuités écologiques
 - Soutien à des programmes de conservation
 - ...
- Peu d'évaluations spécifiques en contexte photovoltaïque

 **À retenir : la compensation ne remplace pas l'évitement ou la réduction**

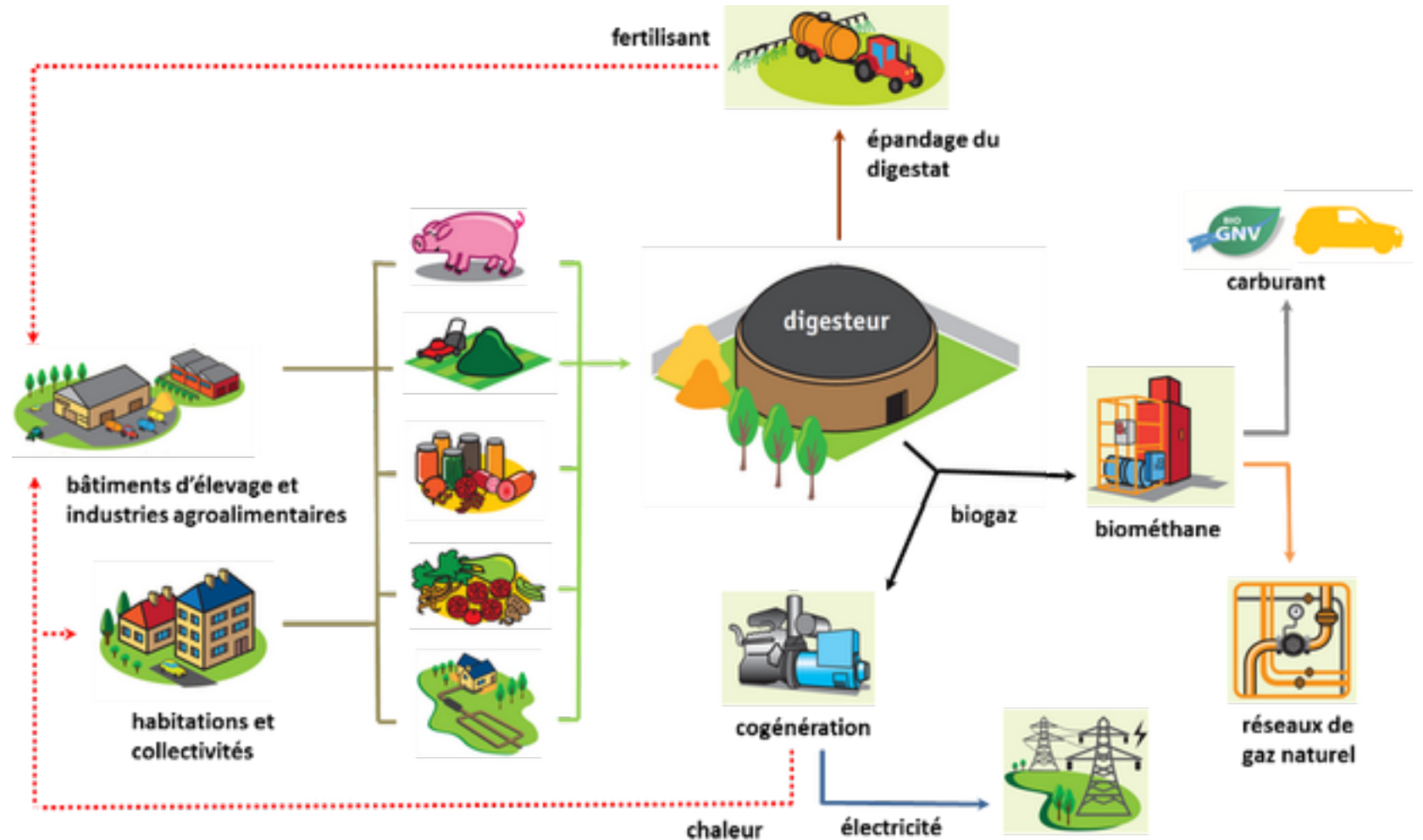


Méthanisation: fonctionnement & principe

Objectifs « Biogaz »:

*Programmation pluri-annuelle
de l'énergie 2024-2028*

24 à 32 TWh/an en 2028
dont 14 à 22 TWh injecté dans
les réseaux



Méthanisation: impacts



Changement d'usage des sols :

- Implantation de cultures énergétiques (maïs, CIVE*) sur prairies ou habitats semi-naturels
- Simplification des paysages, fragmentation, perte de connectivité écologique
- Impact sur oiseaux des plaines, insectes pollinisateurs



Pratiques agricoles intensives :

- Monocultures, semis/récoltes précoces, usage de phytosanitaires
- Appauvrissement des équilibres écologiques et de la biodiversité



Mortalité de la faune lors des récoltes :

- Risque accru au printemps (nidification, mise bas)
- Espèces sensibles : oiseaux au sol, jeunes mammifères



Effets de l'épandage des digestats :

- Perturbation de la faune du sol (vers de terre, micro-organismes, flore)
- Risques de pollution diffuse ou accidentelle vers les milieux aquatiques

Méthanisation: recommandations et bonnes pratiques



Mettre en place un suivi environnemental
pour améliorer les pratiques



Privilégier les intrants résiduaire
effluents d'élevage, biodéchets,
coproduits agricoles



Limitier les cultures dédiées
(ex. : maïs) à fort impact écologique



Éviter les zones sensibles
(prairies permanentes, milieux humides)
pour les cultures intermédiaires



Maintenir les structures semi-naturelles
haies, bandes enherbées, jachères



Adapter les pratiques de récolte
décaler la fauche pour
protéger la faune
sauvage

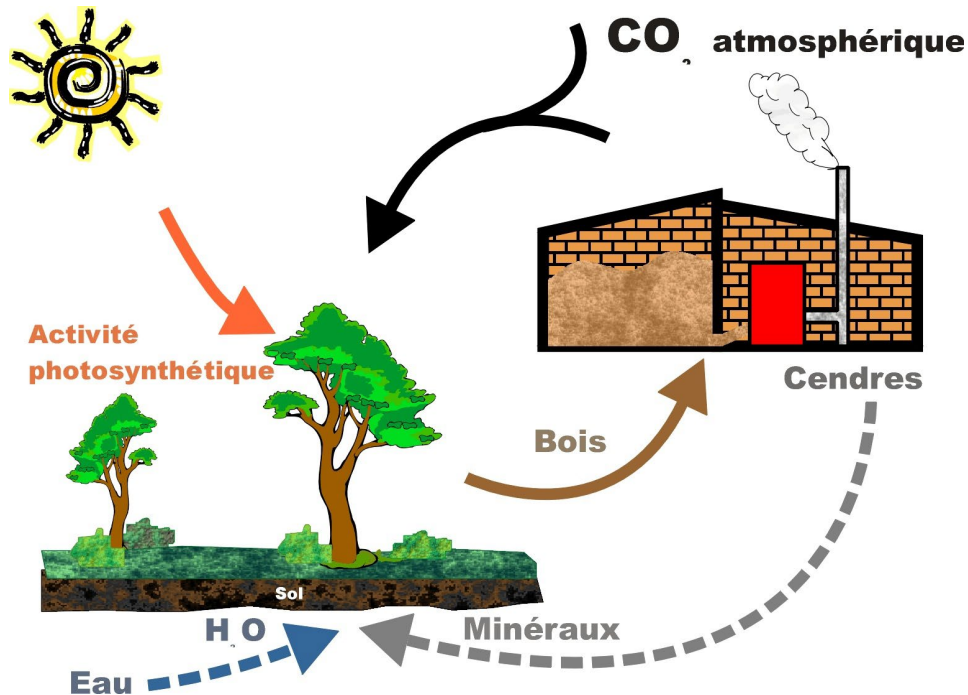


Planter les unités hors zones à enjeu écologique, limiter la fragmentation



Prévoir des dispositifs anti-pollution
(rétention des digestats, sécurisation
des installations)

Biomasse / Bois-énergie: principe, intérêt & limites



Avantages

- CO₂ émis en partie compensé par celui absorbé par la croissance des plantes
- Valorise déchets agricoles, forestiers, industriels
- Gestion durable de la forêt si récolte inférieure à la régénération
- Energie stable, moins dépendante des conditions climatiques + indépendance énergétique

Limites (particulièrement si gestion intensive et surexploitation)

- Bilan carbone pas toujours neutre (forêts gérées trop intensivement)
- Particules fines et pollution atmosphérique
- Risques de déforestation
- Perte de fertilité des sols
- Concurrence avec d'autres usages agricoles et naturels

Merci de votre attention !

aurelie.quinard@fondationbiodiversite.fr

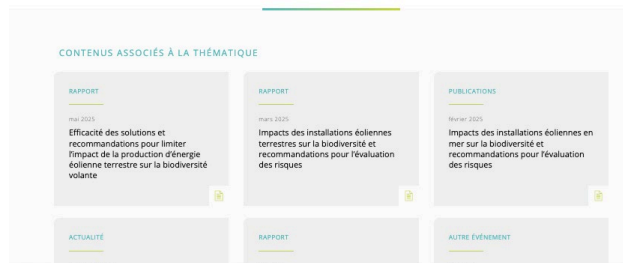
~~~

<https://www.fondationbiodiversite.fr/>



## Biodiversité et énergie

Les filières d'énergies renouvelables ont toutes des impacts négatifs sur la biodiversité. Or, d'une manière générale, les études d'impact ne permettent pas de prévoir la réalité des conséquences des installations d'énergies renouvelables sur la biodiversité, une fois les structures mises en place.  
Il importe donc aujourd'hui de mobiliser la recherche pour réduire drastiquement, dans une logique *Éviter Réduire Compenser* (ERC), l'incidence future des filières d'énergies renouvelables sachant que celles-ci vont connaître un développement considérable au cours des prochaines années.



Scannez: synthèses éolien terrestre –  
impacts et efficacité des solutions

Synthèses photovoltaïque:  
printemps 2026 !

## Quelques ressources complémentaires externes:



Et: <https://librairie.ademe.fr/>