



Impacts des installations photovoltaïques sur la biodiversité



Mise à jour des connaissances

CONTRIBUTEURS

COORDINATION ET REDACTION

Hélène Soubelet

Robin Goffaux

Claire Salomon

RELECTURES

Hélène Soubelet

Robin Goffaux

Claire Salomon

Eva L'Homme

Aurélie Quinard

CITATION

Hélène S., Robin G. and Claire S. (2026) Impacts des installations photovoltaïques sur la biodiversité. Mise à jour des connaissances. Paris, France : Fondation pour la recherche sur la biodiversité

TABLE DES MATIERES

CONTEXTE	4
CHAPITRE 1 - LES PRINCIPAUX IMPACTS DOCUMENTES DES CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES SUR LA BIODIVERSITE	6
CHAPITRE 2 – LES RELATIONS PRESSIONS – IMPACTS.....	7
<i>Pression changement d’usage des terres</i>	<i>7</i>
<i>pression « prelevement » de biomasse</i>	<i>8</i>
<i>pression pollution chimique.....</i>	<i>9</i>
<i>pression pollution lumineuse</i>	<i>10</i>
<i>pression pollution sonore</i>	<i>11</i>
<i>pression pollution electromagnetique</i>	<i>11</i>
<i>pression modification du microclimate.....</i>	<i>11</i>
<i>pression especes exotiques envahissantes</i>	<i>14</i>
CHAPITRE 3- CAS PARTICULIER DE L’AGRIPHOTOVOLTAÏSME	14
CHAPITRE 4 - CAS PARTICULIER DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTS	17
CHAPITRE 5 – APPROCHE PAR LES IMPACTS SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES..	18
<i>Service de maintien des habitats et de la biodiversite.....</i>	<i>21</i>
<i>service de production alimentaire</i>	<i>23</i>
<i>regulation du climat.....</i>	<i>25</i>
<i>regulation de la qualite des sols.....</i>	<i>27</i>
<i>service de maintien du cycle de l’eau.....</i>	<i>30</i>
<i>service de production de biomasse</i>	<i>31</i>
<i>service de regulation de l’erosion des sols.....</i>	<i>32</i>
<i>service culturel, recreatif et esthetique.....</i>	<i>32</i>
<i>service de pollinisation</i>	<i>34</i>
<i>service de regulation des ravageurs et des maladies</i>	<i>35</i>
<i>service de regulation des crues</i>	<i>36</i>
CHAPITRE 6 - LACUNES DE CONNAISSANCES ET BIAIS METHODOLOGIQUES.....	37
<i>Échelle temporelle</i>	<i>37</i>
<i>échelle spatiale</i>	<i>38</i>
<i>couverture taxonomique et ecologique.....</i>	<i>38</i>
<i>manque d’études et lacunes methodologiques.....</i>	<i>39</i>
<i>absence de suivi scientifique</i>	<i>39</i>
ANNEXES.....	41

CONTEXTE

Cette étude s'inscrit dans un programme global porté par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, avec le soutien du Mirova Research Center, visant à accompagner le développement de pratiques durables et responsables dans le secteur des énergies renouvelables. Il s'appuie sur une série de travaux consacrés à la fois aux impacts des énergies renouvelables (éolien terrestre, éolien en mer et photovoltaïque) sur la biodiversité, et à l'efficacité des solutions mises en œuvre pour les éviter, les réduire ou les compenser. Il combine des synthèses de connaissances scientifiques, le financement de projets de recherche et des ateliers d'experts associant scientifiques, acteurs publics, développeurs et opérateurs de projets, afin de produire des recommandations opérationnelles fondées sur les connaissances disponibles et les retours de terrain.

Dans cette perspective, ce travail s'inscrit dans la nécessité de penser conjointement transition énergétique et préservation du vivant. Si le développement du solaire constitue un levier important pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et produire une électricité bas-carbone, il doit également être analysé au regard de ses effets potentiels sur les milieux naturels et les espèces.

L'énergie solaire se développe en effet à grande vitesse pour remplacer les énergies fossiles, mais son impact écologique reste encore mal connu, contrairement à d'autres filières comme l'éolien ou l'hydraulique. Or, les installations et les panneaux photovoltaïques peuvent modifier les écosystèmes : perte d'habitat, mortalité d'animaux, dérèglement du comportement ou des populations locales. Par exemple, certains insectes confondent les reflets des panneaux avec de l'eau et y pondent leurs œufs, générant ainsi des pièges écologiques. Des études ont également observé des modifications de la végétation sous les panneaux, liées à la création de nouveaux microclimats.

Par ailleurs, malgré des améliorations de performance, l'énergie solaire nécessite encore de vastes superficies, créant un conflit potentiel entre protection de l'environnement, production d'électricité et autres usages des terres. Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de mieux documenter les pressions exercées par les installations photovoltaïques sur la biodiversité, afin de garantir leur meilleure prise en compte dans le développement, la construction et la gestion des projets.

Ce document a ainsi pour ambition de résumer les impacts déjà connus et d'y adjoindre de récents travaux sur des aspects moins étudiés ou plus confidentiels qui nécessitent néanmoins l'attention des acteurs de la filière (voir tableau 1).

Observations	Principale référence scientifique
Impacts sur la diversité des plantes	Gallagher, R. V., Andres, S. E., Stephens, R. E., Hewitt, C., Wintle, B. A., van Leeuwen, S., ... & Adams, V. M. (2025). Impacts of the renewable energy transition on global plant diversity: A review. <i>Plants, People, Planet</i> .

Impacts sur la faune	Fleming, P. A. (2025). All that glitters—Review of solar facility impacts on fauna. <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> , 224, 115995.
Impacts sur les insectes	Lec'Hvien, A., Bienvenu, L., Isselin-Nondedeu, F., Bischoff, A., Gros, R., & Schatz, B. (2025). Effects of solar panels and management on pollinators and their interactions with plants in Southern French solar parks. <i>Biological Conservation</i> , 307, 111209.
Impacts sur les milieux agricoles	Kocsis, T., de Groot, A., van Beersum, F., Boer, J., Dimmers, W., Laros, I., ... & Fijen, T. (2025). Mixed plant and arthropod biodiversity responses to solar park establishment on former agricultural lands. <i>Journal of Applied Ecology</i> , 62(11), 3078-3091.
Impact sur les oiseaux des zones humides	Anderson, C. M., Hopkins, A. P., & Anderson, J. T. (2025). Assessing the Impact of Solar Farms on Waterbirds: A Literature Review of Ecological Interactions and Habitat Alterations. <i>Conservation</i> , 5(1), 4.
Impact sur les zones semi-arides	Iranzo, E. C., Nicolau, J. M., Reiné, R., & Tormo, J. (2025). Current Knowledge on Novel Semi-Arid Photovoltaic Ecosystems, Their Impacts on Biodiversity and Implications for the Sustainability of Renewable Energy Production. <i>Land</i> , 14(6), 1188.
Impact sur les agroécosystèmes	Schwarz, R., & Ziv, Y. (2025). Shedding light on biodiversity: reviewing existing knowledge and exploring hypothesised impacts of agrophotovoltaics. <i>Biological Reviews</i> , 100(2), 855-870. Leroy, V., Decocq, G., Noirot-Cosson, P. E., & Marrec, R. (2025). Impacts of punctual solar trackers on soil biodiversity in agricultural lands. <i>Geoderma</i> , 453, 117147. Yan, T., & Wang, Z. (2025). Impact of Photovoltaic Industry Development on Grassland Ecosystems. <i>Academic Journal of Environment & Earth Science</i> , 7(1), 63-69.
Impacts des systèmes photovoltaïques flottants	Oliveira, P. M. B., Almeida, R. M., & Cardoso, S. J. (2025). Effects of floating photovoltaics on aquatic organisms: a review. <i>Hydrobiologia</i> , 852(12), 3155-3170.
Impact sur les services écosystémiques	Treasure, L., Sharp, S. P., Smart, S. S., Parker, G., & Armstrong, A. (2025). Global assessment of solar park impacts on ecosystem services. <i>Progress in Energy</i> , 7(3), 032002.
Limites et biais des connaissances	Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D. Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., ... & Reyjol, Y. (2023). Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: a systematic map with critical appraisal of study validity. <i>Environmental Evidence</i> , 12(1), 25.

CHAPITRE 1 - LES PRINCIPAUX IMPACTS DOCUMENTES DES CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES SUR LA BIODIVERSITE

Comme la plupart des infrastructures humaines, les installations d'énergies renouvelables peuvent nuire directement et indirectement à la biodiversité et perturber les écosystèmes naturels, que ce soit lors de l'extraction des ressources nécessaires à leur production, lors de leur installation (phase qui peut durer jusqu'à deux ou trois ans), leur démantèlement et pendant leur phase opérationnelle. Ces installations contribuent donc au déclin de la biodiversité locale et, par conséquent, à la crise mondiale de la biodiversité. En particulier, les installations d'énergie solaire peuvent :

- entraîner des changements et des pertes importantes d'habitats naturels, le principal facteurs de l'érosion de la biodiversité
- être une cause de mortalité directes en particulier des oiseaux et des insectes,
- impacter la migration des oiseaux
- perturber la croissance des plantes et le comportement animal,
- induire des changements dans la composition et la diversité des communautés
- altérer la qualité des sols et des fonctions écologiques
- influencer l'utilisation de l'habitat, le comportement de reproduction, les schémas de recherche de nourriture et la compétition interspécifique

Trois grands noyaux de connaissances ressortent :

1. Effets sur la végétation : moins de croissance sous les panneaux, mais parfois plus de biomasse dans les zones sèches, et des changements dans les espèces présentes (certaines se trouvent favorisées, au détriment d'autres).
2. Effets sur les insectes : les insectes sont attirés par la polarisation lumineuse (pièges), il y a moins de diversité dans les zones trop ombragées ; les pollinisateurs (abeilles, papillons) sont les espèces les plus étudiées.
3. Effets à l'échelle globale : il y a des changements dans la diversité et l'abondance des espèces proches des grandes centrales solaires ; cependant, les impacts sont encore mal quantifiés. De même pour les effets cumulés d'un ensemble d'installations pouvant être plus élevés que la simple addition des structures individuelles

A noter également que Iranzo *et al.* (2025) observent que, vis-à-vis du cadre DPSIR, les études portent majoritairement sur les pressions et impacts plutôt que sur les déterminants et les réponses. Ces auteurs proposent des résumés graphiques de ces installations sur les microclimats et les sols, sur la végétation, ainsi que sur la faune. Une transcription de ces schémas figure en annexe 1 de ce document.

Les actions à mettre en œuvre pour améliorer la coexistence des activités humaines avec la biodiversité doivent permettre d'alléger les pressions qui s'exercent, notamment celles qui entraînent les impacts identifiés ci-dessus. Il est donc essentiel de lier pressions et impacts afin d'identifier ces pistes d'actions et limiter les impacts indésirables.

CHAPITRE 2 – LES RELATIONS PRESSIONS – IMPACTS

Pression changement d'usage des terres

La principale pression des installations solaires sur la biodiversité est le changement d'usage des terres, se traduisant par des pertes et des fragmentations des habitats ainsi que des barrières physiques (clôtures, bâtiments).

L'installation et l'exploitation d'infrastructures solaires à grande échelle nécessitent parfois de défricher et de niveler de vastes superficies de terrain. La végétation est éliminée par des opérations régulières de débroussaillage, de tonte ou d'application d'herbicides, afin de prévenir l'ombrage des panneaux et d'atténuer les risques d'incendie. Des modifications se produisent en particulier pendant la phase d'installation par nivellement, compactage, enlèvement de la couche arable, élagage, arrachage et application d'herbicides. Ces travaux dont l'objectif est d'augmenter les rendements énergétiques (suppression des ombrages) et réduire les risques d'incendie dégradent le sol et le rendent vulnérable à l'érosion.

La transformation d'habitats naturels ou agricoles ouverts en grandes fermes solaires et leurs infrastructures représentent des ruptures d'écosystèmes et des blocages d'anciens corridors écologiques. Les lignes à haute tension reliant la centrale au réseau électrique sont également des barrières infranchissables pour certaines espèces par les rayons UV qu'elles émettent et qui sont détectables par les insectes, les oiseaux, les rongeurs et des mammifères comme les rennes. La littérature montre que de nombreuses zones naturelles précieuses sont impactées par la construction de ces infrastructures, ce qui indique une prise en compte insuffisante de la biodiversité lors du choix des sites.

Ces installations ont un impact sur la zone exploitée, mais également sur les habitats adjacents par le développement d'infrastructures (voies d'accès, équipements électriques, raccordement au réseau) qui requièrent à leur tour la destruction de surfaces supplémentaires et génèrent nuisances et pollutions (voir ci-après poussières, pollution lumineuse, modifications du microclimat, rayonnement UV).

Chez les animaux, les impacts sont des mortalités ou blessures, des perturbations de la migration des espèces, des limitations des déplacements, des comportements d'évitement, ce qui peut entraîner des pertes de diversité génétique des populations d'espèces. À l'échelle du paysage, les grandes zones de panneaux solaires peuvent constituer une barrière physique

pour les déplacements de certaines espèces comme les papillons sédentaires (Lec'Hvien *et al*, 2025). Les clôtures autour des champs solaires perturbent les déplacements des plus grands animaux, affectant la connectivité des habitats et perturbant les routes migratoires. Cela pourrait conduire à des effets à grande échelle sur les populations, et même résulter en extinctions locales (Shwarz *et al*, 2025).

Chez les plantes, les perturbations répétées pourraient avoir des conséquences à long terme sur les communautés si la végétation est systématiquement fauchée avant que les plantes n'atteignent leur maturité reproductive. Ceci entraîne un appauvrissement de la banque de graines du sol et une inhibition de la reproduction, ou encore des effets indésirables liés à l'ajout d'herbicides, réduisant des fonctions essentielles telles que la croissance des plantes ou les interactions plantes-pollinisateurs.

Les impacts sur le sol sont variables. Dans certains cas les fermes solaires entraînent une dégradation de la qualité physique et chimique du sol, mais lorsque l'installation a été placée de façon écologique et stratégique, les modifications induites peuvent influencer positivement plusieurs propriétés du sol : stabilité accrue des agrégats, communautés microbiennes augmentées, contenu en matière organique élevé (Anderson *et al*, 2025).

Anderson *et al*. (2025) soulignent que dans les paysages dégradés ou les zones d'agriculture intensive, les parcs solaires peuvent paradoxalement présenter une plus grande diversité globale que dans les zones avoisinantes. Malgré les impacts négatifs, certaines études ont trouvé que les fermes solaires soutiennent une richesse, diversité et abondance d'espèces d'oiseaux plus élevées, particulièrement pour les mangeurs d'invertébrés et les butineurs au sol, lorsque leur diversité structurelle est accrue par rapport au milieu d'origine. Les espèces pollinisatrices semblent avoir le plus à gagner des installations solaires, avec des recherches démontrant que l'inclusion de plantes pollinisatrices peut tripler l'abondance des pollinisateurs sur 5 ans. Les zones agricoles limitées en ressources connaissent souvent une biodiversité aviaire améliorée, tout comme les environnements arides lorsqu'une végétation couvre-sol est utilisée, mais la recherche reste limitée sur les impacts sur les espèces forestières et associées aux zones humides.

Pression « prélèvement » de biomasse

Les espèces aviaires sont disproportionnellement affectées par des mortalités par rapport aux autres taxons. Les oiseaux aquatiques et autres espèces dépendantes des zones humides, qui sont des migrateurs nocturnes, représentent presque la moitié des décès aviaires dans les installations solaires (Anderson *et al*. 2025). La perte d'étangs ou de zones humides spécifiques en raison de leur transformation en zones de production solaire conduit à des altérations des routes migratoires ou des schémas de reproduction des espèces à haute fidélité aux sites de reproduction et de nidification. Les mortalités varient selon les saisons, avec la majorité des événements se produisant pendant les périodes de migration maximale.

Kosciuch *et al.* [33] ont estimé que les installations solaires étaient responsables de 1,82 à 2,49 décès d'oiseaux par MW et par an dans les deux États de Californie et du Nevada, aux États-Unis, ce qui pourrait représenter un total de 30 976 à 42 193 décès d'oiseaux par an si l'on tient compte de la capacité totale d'énergie solaire des deux États (17,02 GW).

Anderson *et al.* (2025) ont également produits des estimations extrapolées qui montrent que les fermes solaires sont responsables de 37 000 à 138 000 cas de mortalité aviaire annuellement aux États-Unis. Les causes de mortalité sont les brûlures (installations héliostats ou solaire concentré), les collisions avec les structures, l'électrocution, le piégeage. Certaines espèces sont particulièrement sensibles. Dans cette étude les tourterelles tristes (*Zenaidura macroura*) : représentaient 12,92% des victimes, les alouettes hausse-col (*Eremophila alpestris*) 11,93% des victimes, les roselins familiers (*Haemorhous mexicanus*) 8,41% et les foulques d'Amérique (*Fulica americana*, oiseau aquatique) 2,87%. Fleming (2025) aboutit à la perte de 17,2 millions d'oiseaux par an à l'échelle globale en extrapolant depuis des études réalisées aux États-Unis.

Par comparaison, les collisions d'oiseaux avec les fenêtres sont de plus en plus courantes aux États-Unis, avec une estimation de 100 millions à plus de 1 milliard de décès/an. Les oiseaux ne sont pas capables de reconnaître les surfaces de verre réfléchissantes et transparentes comme des barrières à leur mouvement. Les espèces qui migrent pendant la nuit sont particulièrement à risque (Anderson *et al.* 2025).

Ces installations peuvent être des pièges écologiques à la fois pour les espèces proies et prédatrices, les attirant dans un environnement dangereux où elles s'exposent à un plus fort risque de prédation ou de blessure par collision avec les structures. Enfin, les prédateurs qui chassent dans les champs ouverts et évitent les habitats structurellement complexes peuvent être exclus des zones de panneaux, ce qui réduit le contrôle naturel des ravageurs.

Les grandes fermes solaires peuvent être prises pour des plans d'eau (effets lacs) par les oiseaux migrateurs, augmentant le risque de blessure ou de mort. Anderson *et al.* (2025) précisent que de nombreuses études ne démontrent pas d'« effet lac », mais que des résultats récents ont révélé que bien que l'effet lac puisse ne pas conduire à des augmentations significatives d'événements de mortalité d'oiseaux, la diversité sur les sites adjacents aux panneaux photovoltaïques était plus faible comparée aux zones humides naturelles voisines, probablement en raison de l'altération des routes migratoires. Ces résultats montrent l'importance de ne pas utiliser la mortalité comme seul indicateur d'impact.

Pression pollution chimique

La construction comme l'exploitation des fermes photovoltaïques sont responsables de pollutions, une autre pression très importante sur la biodiversité. Les produits chimiques toxiques utilisés sont des rejets accidentels de carburants, d'huiles et de lubrifiants lors des

opérations de construction et de maintenance, ainsi que l'utilisation de pesticides et d'herbicides pour contrôler la végétation. Le nettoyage des panneaux, pour enlever la poussière est également souvent réalisé avec des produits polluants à haute dose, comme des saumures ou du sel.

Anderson *et al.* (2025) insistent sur les contaminations chimiques liées à la toxicité des composants des panneaux photovoltaïques. En particulier, la publication révèle un risque lié au silicium monocristallin et polycristallin, au plomb, acétate de vinyle éthylène, chlorofluorocarbures, retardateurs de flamme poly/bromés, tellure de cadmium, diséléniure de cuivre indium gallium, nanomatériaux et colorants. Lorsque les panneaux sont endommagés ou en fin de vie (25-30 ans), les lessivats toxiques peuvent atteindre 6,6 mg/L (plomb) à 43,9 mg/L (cuivre), dépassant la norme réglementaire de 5 mg/L. Les pluies acides augmentent le lessivage des contaminants dans les zones environnantes. Notons que les panneaux de troisième génération contiennent moins de composants toxiques que les générations précédentes.

Ces pollutions peuvent, par ruissellement atteindre les écosystèmes voisins et être diffusés à grande distance, en particulier par l'air et l'eau.

Les impacts sont des mortalités directes et indirectes d'espèces vivantes, des intoxications et des comportements d'évitement.

Pression pollution lumineuse

La pollution lumineuse émise par les centrales photovoltaïques pose problème à certaines périodes (éclairage nocturne), par leur intensité (éblouissement) et leur nature (lumière polarisée). Les fermes solaires peuvent inclure un éclairage artificiel pour la maintenance, créant une pollution lumineuse dans un habitat auparavant rural, perturbant la faune nocturne, et potentiellement attirant des espèces invasives et surabondantes, affectant les assemblages de communautés (Shwarz *et al.*, 2025).

Cette pollution a un impact sur la biologie et l'écologie de la faune sauvage. La lumière artificielle peut perturber la faune nocturne et interférer avec ses déplacements, son comportement et ses processus physiologiques. L'éblouissement dû à la réflexion de la lumière solaire sur les panneaux photovoltaïques peut temporairement altérer la vision des humains et des animaux, interférant avec la navigation des oiseaux et perturbant les couloirs de migration.

La lumière polarisée, dont l'aspect est similaire aux reflets sur l'eau, peut aussi attirer des organismes tels que les oiseaux, les reptiles, les amphibiens et les insectes vers la surface artificielle, où ils peuvent également pondre leurs œufs. Ainsi, les panneaux photovoltaïques peuvent agir comme des pièges écologiques, entraînant des problèmes de reproduction et une

mortalité par collision, comme exposé dans la partie précédente, prédation ou des efforts reproducteurs vains.

Horváth *et al.* [32] ont découvert que les panneaux PV peuvent réfléchir la lumière polarisée horizontalement, ce qui est souvent utilisée par les insectes aquatiques comme repère pour détecter les surfaces aquatiques. Ces derniers peuvent donc pondre leurs œufs sur ces pièges écologiques potentiels, ce qui, selon les auteurs, pourraient être responsables du déclin des populations locales à proximité des zones humides et des plans d'eau.

Pression pollution sonore

La phase d'installation, qui peut durer deux à trois ans, génère du bruit. Cette pression engendre une perte d'habitat, une exclusion des espèces natives, et la création d'environnements inadaptés pour les espèces migratrices.

Pression pollution électromagnétique

Ces installations génèrent également des champs électromagnétiques qui peuvent affecter la faune sauvage. Les impacts sont, par exemple, la perturbation du système nerveux, des rythmes circadiens, des fonctions cardiaques, de la réponse immunitaire et de la fertilité chez les mammifères sauvages, ainsi que la modification du comportement et de l'efficacité de la pollinisation chez les abeilles.

Pression modification du microclimat

La construction de centrales photovoltaïques se fait souvent par défrichage du terrain, ce qui modifie le microclimat local en réduisant l'évapotranspiration. L'effet d'îlot de chaleur sous les panneaux peut également provoquer une élévation des températures locale. Cela peut affecter les espèces relativement sessiles (plantes, champignons, microorganismes) de manière similaire aux effets sur les cultures en favorisant des espèces tolérantes à l'ombre et excluant les espèces héliophiles. Cet environnement modifié pourrait créer des refuges pour des espèces rares, atténuant potentiellement certains impacts du changement climatique et participant à la restauration du sol. Les espèces fongiques adeptes des conditions ombragées et humides peuvent être favorisées, ce qui entraîne une réduction du rendement des cultures et par rebond un usage accru de fongicides.

Anderson *et al* (2025) apportent des nuances importantes sur les effets d'îlot de chaleur, avec des résultats contradictoires selon les études concernant le potentiel des fermes solaires à induire cet effet suite aux changements d'albédo. Les panneaux photovoltaïques créent par ailleurs, une distribution inégale des précipitations. Ils augmentent les fluctuations de l'eau

dans le sol, réduisent la sécheresse et augmentent la disponibilité en eau du sol grâce à des taux d'évaporation plus faibles et à une concentration d'eau aux bords des panneaux. Ils amplifient le ruissellement, les simulations montrant que les panneaux solaires augmentent le pic de décharge 11 fois par rapport à une pente de référence. Ce ruissellement a néanmoins un impact modérément positif observé lorsque les panneaux sont alignés avec la pente. Il est par ailleurs plus significativement influencé par l'étendue de la couverture végétale que par la présence des panneaux eux-mêmes (Anderson *et al.* 2025).

La modification du micro climat local peut avoir des impacts positifs sur certaines espèces, notamment des espèces exotiques envahissantes.

Graham *et al.* [34] ont constaté que la floraison des plantes était retardée sous l'ombre partielle des panneaux photovoltaïques, tandis que l'abondance florale augmentait, mais que les pollinisateurs étaient moins abondants et moins diversifiés à l'ombre des panneaux photovoltaïques. Ils ont établi un lien entre ces effets sur les communautés végétales et pollinisatrices et les modifications des conditions microclimatiques sous les panneaux photovoltaïques, telles que les changements de température du sol, de rayonnement solaire ou d'humidité du sol, qui peuvent être directement liés à la production de nectar par les plantes. En effet, les installations photovoltaïques peuvent même produire un effet d'îlot de chaleur à l'échelle du paysage, avec des niveaux d'humidité plus élevés et des températures nocturnes plus chaudes autour des installations PV [35, 36].

Une étude (Lec'Hvien *et al.* 2025) menée sur vingt parcs solaires du sud de la France a révélé une réduction de 77% de l'abondance totale des pollinisateurs sous les panneaux solaires par rapport à des zones témoins, une diminution de 86% des interactions plantes-pollinisateurs sous les panneaux (par exemple une réduction significative du nombre d'interactions plantes-abeilles sauvages et plantes-syrphes, ainsi que la réduction du nombre d'espèces végétales attirant les pollinisateurs). Ces effets s'expliquent parce que les panneaux solaires :

- réduisent le rayonnement solaire et la température de l'air pendant la journée, et les pollinisateurs évitent les zones ombragées et les basses températures,
- affectent indirectement les pollinisateurs par leurs effets sur les communautés végétales (composition des espèces, caractéristiques florales, densité florale et phénologie),
- et créent de l'ombrage permanent limitant la production de pollen et de nectar et réduisant l'attractivité des zones pour les pollinisateurs.

À l'inverse, en milieu aride, Iranzo *et al.* (2025) démontrent que l'ombrage des panneaux photovoltaïques peut créer un îlot de fraîcheur qui peut s'étendre jusqu'au périmètre extérieur de la centrale, offrant ainsi un refuge thermique potentiel. L'ombrage et les précipitations captées par les panneaux peuvent favoriser une rétention d'eau accrue dans le sol, ce qui entraîne une augmentation de la biomasse et de la richesse en espèces de la végétation adjacente, en particulier dans les écosystèmes où l'eau est limitée. De même, dans

les terres cultivées ou les pâturages, les panneaux solaires ajoutent une complexité structurelle, de l'ombrage et un abri qui peuvent engendrer une diversité microenvironnementale et d'habitats, favorisant ainsi une plus grande biodiversité végétale que dans des sites témoins tels que les champs cultivés. Laisser pousser une végétation basse peut réduire le risque d'érosion.

Une étude néerlandaise (Kocsis *et al.* 2025) a comparé les zones non ombragées et partiellement ombragées de trois types d'habitats, des parcs solaires récemment convertis (<4 ans), des prairies intensives et des prairies extensives semi-naturelles. Le problème de cette étude est qu'elle exclut les grandes surfaces ombragées sous les panneaux qui représentent en moyenne de 73% de la surface couverte par les panneaux dans les parcs solaires néerlandais. Néanmoins, pour les espaces évalués, elle montre que les parcs solaires présentent une diversité végétale supérieure aux prairies intensives et une disponibilité florale et une richesse en plantes vasculaires similaires aux prairies extensives. Cela peut s'expliquer par exemple par le phénomène de colonisation par perturbation sur des milieux à la base pauvres en espèces, qui est parfois utilisé en restauration des écosystèmes, ou par le fait que certains parcs solaires sont ensemencés avec des mélanges de graines pour favoriser une diversité végétale. Ces ressources florales conduisent à des richesses spécifiques et des abondances globales d'abeilles et de syrphes similaires aux prairies extensives et bien supérieures aux prairies intensives. Les résultats étaient néanmoins mitigés pour les papillons, ne démontrant pas de différences avec les prairies intensives. Ceci s'explique sans doute par le fait que certaines espèces ont une préférence pour la végétation semi-naturelle à faible productivité, que les jeunes parcs solaires avec un historique de gestion intensive peuvent ne pas encore fournir. Par ailleurs, les papillons sont plus mobiles que les abeilles sauvages et les syrphes, les rendant plus susceptibles de butiner dans les champs agricoles environnants, où l'exposition aux produits agrochimiques peut affecter négativement leur développement, fécondité et durée de vie. Notoirement, les espèces de papillons présentes dans les parcs solaires sont distinctes de celles des prairies, avec des phénomènes de colonisation incomplète ou spatialement variable.

Les arthropodes émergents du sol sont restés rares et plus faibles que dans les prairies intensives (en biomasse et en abondance) malgré les ressources florales abondantes, suggérant que d'autres caractéristiques des parcs solaires peuvent fortement les limiter (probablement en raison des conditions microclimatiques créés par les panneaux, notamment le taux d'évaporation et la disponibilité en eau réduite). Leurs richesses étaient équivalentes, mais de composition différente et des communautés plus hétérogènes dans les installations PV et les prairies extensives que dans les prairies intensives. Les coléoptères étaient particulièrement abondants et riches en espèces dans les prairies intensives, reflétant leur adaptation à la gestion intensive. 17 espèces ont été régulièrement identifiées dans les parcs solaires, dont 11 inféodées aux prairies humides, ce qui suggère que les parcs solaires néerlandais créent des conditions écologiques ressemblant aux habitats de prairies humides. La composition en espèces des parcs était très variable et dépendante de la configuration et

de l'espacement des panneaux, de la taille des marges, du type de sol, de l'intensité et des modes de gestion, des éléments du paysage environnant.

Pression espèces exotiques envahissantes

Les perturbations induites par l'installation et le fonctionnement de grandes fermes solaires peuvent créer des niches écologiques permettant à des espèces végétales exotiques opportunistes de coloniser le milieu avant que la végétation indigène ne puisse se rétablir. Des transitions d'une dominance des espèces indigènes à une dominance des espèces envahissantes sont également possibles en raison de modifications des régimes de feux résultant d'incendies accidentels. Les panneaux solaires sont ainsi susceptibles d'attirer des espèces invasives ou des ravageurs qui pourraient exploiter la zone perturbée. Les structures servent de perchoirs pour les prédateurs et augmentent ainsi la pression de prédation fournissant un contrôle des ravageurs. [Ces modifications induisent des disparitions de certaines espèces de plantes et des espèces animales inféodées.](#)

CHAPITRE 3- CAS PARTICULIER DE L'AGRIPHOTOVOLTAÏSME

Les travaux de Shwarz *et al*, (2025) montrent que les panneaux photovoltaïques au-dessus des terres agricoles, modifient le microclimat différemment des panneaux installés directement sur le sol nu. Les principales différences concernent l'ombre, les températures, le pH et l'humidité sous les panneaux.

Ils constatent une diminution du rayonnement photosynthétiquement actif sous les panneaux photovoltaïques de 30 à 75% inférieur par rapport aux zones non ombragées, notamment le matin et en été en fonction de divers facteurs (heure, latitude, saison, type de module, angle d'inclinaison, hauteur d'installation et espacement entre les panneaux).

La température du sol sous les systèmes photovoltaïques sur pilotis est généralement plus basse en raison de l'ombrage, ce qui peut être bénéfique pendant les périodes chaudes, mais peut retarder la maturation des cultures pendant les saisons plus fraîches. L'humidité du sol dans les centrales solaires tend à être plus faible qu'en plein champ dans les climats tempérés en hiver, mais plus élevée dans les régions semi-arides, où les fermes solaires améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Les températures de l'air sont généralement plus basses sous les panneaux APV que sous les panneaux PV installés directement au sol. L'humidité relative tend à être plus élevée sous les panneaux des systèmes APV qu'en plein champ, notamment en hiver.

Les structures solaires réduisent la vitesse du vent et servent de brise-vent, ce qui peut limiter l'érosion des sols. Certains systèmes APV sont équipés de systèmes de récupération des eaux

de pluie qui collectent l'eau des panneaux, les débarrassent de la poussière et la redistribuent pour l'irrigation des cultures situées en contrebas, optimisant la consommation d'eau et évitant le recours à des produits chimiques polluants pour le dépolluissage.

Les implications agricoles sont variées et dépendent du contexte local ainsi que des aménagements et pratiques associés à la structure : présence de ressources pour l'agrobiodiversité, recours au pâturage, etc.

Les systèmes solaires peuvent entraîner un retard de développement des cultures, avec une végétation à l'ombre conduisant à des plantes plus hautes et à croissance plus lente. Leur impact sur le rendement agricole est variable et oscille entre une réduction de rendement durant les saisons plus fraîches, notamment sous les climats tempérés, ou pour les cultures intolérantes à l'ombre à une augmentation de rendement sous les climats chauds et secs (durant les mois d'été ou sous les climats désertiques), sur les sites venteux ou pour les cultures tolérantes à l'ombre.

Le choix des cultures et la configuration des panneaux photovoltaïques (angle, hauteur et orientation) sont donc essentiels pour optimiser les rendements agricoles et électriques. Leurs impacts pourraient être réduits lorsqu'ils sont montés sur pilotis par réduction de l'effet microclimatique.

Les auteurs signalent que les risques de pollution chimique sont potentiellement plus faibles avec l'agrivoltaïsme, car la végétation capte la poussière ce qui réduit le besoin en produits anti-poussière. Ils proposent également un tableau de synthèse des effets des installations d'APV sur la biodiversité (voir annexe 2).

Les travaux de Leroy *et al.* (2025) ont examiné l'impact de *trackers* solaires (mâts de 7 mètres de haut similaire à un arbre isolé ou un poteau électrique) installés depuis 2 à 7 ans, permettant d'évaluer leurs effets à moyen terme après dissipation des impacts initiaux de construction associés à du blé d'hiver et des prairies de fauche sur les organismes décomposeurs du sol (vers de terre, collembole, cloportes, activité microbienne). Une des limites de l'étude est qu'elle a porté sur des installations de configuration très différente des installations traditionnelles (panneaux horizontaux). Dans ce cas, les pratiques agricoles (intensité du travail du sol, fertilisation, intensité de fauchage) restent le principal déterminant de biodiversité et surpassent l'influence des *trackers* solaires, quels que soient les taxons et le type de couverture terrestre considérés. Les mesures effectuées dans quatre champs de blé d'hiver ont confirmé des températures du sol et de l'air significativement plus basses et une humidité du sol plus élevée près du tracker qu'à 35 m de distance avec une augmentation localisée de la richesse spécifique végétale à la base du mât (ce qui s'explique par une moindre intensité de gestion à la base du mât et une absence de culture dans un rayon de un à trois mètres, ce qui permet le développement des adventices et d'offrir un refuge aux organismes du sol, de la même manière que les infrastructures vertes ou agro-écologiques). A contrario, ces zones étaient également moins riches en azote et matière organique par absence d'amendement. Contrairement aux attentes, l'étude a trouvé peu de compaction au pied du

tracker (la compaction causée par les travaux d'installation du tracker s'est dissipée avec le temps, l'action d'organismes du sol comme les vers de terre a ameubli la surface du sol et le voisinage direct du tracker peut ne pas être compacté par les passages répétés de véhicules, contrairement au reste du champ).

Yan et Wang (2025) ont étudié 10 parcelles fixes et sur les cinq années précédant et suivant la construction d'une centrale solaire. Les résultats montrent que le taux de couverture végétale moyen des 10 parcelles fixes avant la construction est de 84,4 %, tandis qu'après la construction, il est respectivement de 31,9 %, 56,4 % et 77,2 % pour la zone de construction, la zone tampon et la zone témoin. La diminution de la couverture végétale dans la zone tampon est dû à l'impact indirect des activités de construction, du trafic routier et des perturbations humaines sur l'écosystème environnant. La baisse de la couverture végétale dans la zone témoin quoique faible, peut s'expliquer par les modifications du climat local et les modes de gestion comme le pâturage. Les auteurs confirment que le taux d'humidité des sols après l'installation est moins élevé qu'avant travaux dans la zone de construction ce que les auteurs expliquent par une réduction de l'évaporation de l'eau de surface et de l'infiltration des précipitations ainsi qu'une modification du ruissellement et de la structure du sol entraînant une diminution de sa capacité de rétention d'eau. En termes de diversité des espèces, les résultats montrent une diversité élevée avant travaux, signe d'un écosystème relativement stable et une réduction de 70,8% de cette diversité après les travaux en raison de la destruction directe des habitats végétaux par la pose des panneaux photovoltaïques et la construction des infrastructures.

Les systèmes agriphotovoltaïques représentent une solution prometteuse au nexus "nourriture-énergie-environnement", mais leurs impacts sur la biodiversité sont complexes, multidimensionnels, et largement hypothétiques à ce stade. Leur potentiel réside dans l'augmentation de la productivité des terres jusqu'à 70%, la prévention de la destruction d'habitats naturels supplémentaires, une perturbation minimale additionnelle des terres avec certaines solutions (systèmes sur pilotis), une pollution chimique potentiellement réduite, le potentiel de créer des refuges pour des espèces rares et d'atténuer certains impacts du changement climatique. Cependant des risques demeurent, en particulier les effets variables selon le contexte écologique et les traits d'espèces, les risques de pièges écologiques pour proies et prédateurs, le potentiel d'attraction d'espèces invasives, la fragmentation possible des habitats (clôtures), les exclusions possibles de certaines espèces (prédateurs de champs ouverts, espèces héliophiles), les interactions complexes avec pratiques agricoles (pesticides, gestion de la végétation).

CHAPITRE 4 - CAS PARTICULIER DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE FLOTTANTS

Oliveira *et al.* (2025) ont publié une revue de littérature sur les impacts écologiques des systèmes photovoltaïques flottants sur les écosystèmes aquatiques d'eau douce et marins. Ils signalent un nombre limité d'études (24 retenues) sur le sujet, toutes conduites au cours des six dernières années avec des efforts de recherche concentrés sur des écosystèmes artificiels d'eau douce à petite échelle, en Chine ou à Taïwan, lieux principaux de ce genre d'installations. Les organismes les plus étudiés sont les algues et les bactéries photosynthétiques en tant que bio-indicateurs de la qualité de l'eau. La tendance générale observée par les études est une diminution de la production primaire. Cet effet augmente avec la surface couverte mais semble insignifiant en dessous de 20% de couverture. Les auteurs proposent un seuil critique potentiel à 30%. Quatre études ont trouvé une réduction de la biomasse algale, de la concentration en chlorophylle-a, du taux de croissance et des pigments photosynthétiques. Une étude a trouvé des résultats incohérents concernant la biomasse des producteurs primaires dans des scénarios de 0 à 100% de couverture et une dernière étude a trouvé des valeurs plus élevées de chlorophylle-a dans les zones humides couvertes de panneaux PV comparées à d'autres types de zones humides dans la même région (mais sans savoir si les valeurs étaient déjà plus élevées avant l'installation).

Deux études ont rapporté une diminution du taux de croissance pour les algues cultivées sous des panneaux PV semi-transparents, mais une activité photosynthétique accrue due à la réduction de la photo-inhibition. En effet, la réduction de la lumière ne réduit pas nécessairement l'activité photosynthétique du phytoplancton et elle peut par ailleurs augmenter leur biomasse en réduisant celle de compétiteurs pour les nutriments, comme les macrophytes. Les panneaux réduisent également la température de l'eau et le mélange par le vent, sans que les effets n'aient été évalués. Il semble exister à ce jour un consensus sur la capacité des panneaux à contrôler les algues et les cyanobactéries, spécialement dans le cas de systèmes qui font face à des proliférations d'algues nuisibles. Il y a peu d'études sur les autres groupes vivants, néanmoins, une étude basée sur une approche de modélisation a rapporté que les traitements de l'eau pourraient être potentiellement inefficaces pour maintenir les populations de protozoaires et bactéries à un niveau sûr pour la consommation humaine lorsque la couverture dépasse 30% dans un réservoir (nota : la couverture moyenne des installations en panneaux flottant est actuellement de 34%). Deux études ont rapporté une abondance, diversité et richesse réduites dans les communautés de rotifères et les communautés bactériennes dans des zones humides de subsidence en Chine en raison d'une incidence lumineuse réduite. Les communautés de rotifères semblaient être affectées par les changements de température de l'eau et de chlorophylle-a, ce qui pourrait affecter la reproduction et les interactions avec proies et prédateurs.

La majorité des études évaluant les effets sur les organismes aquatiques se sont concentrées sur les poissons et crustacés et sur la croissance des animaux élevés sous panneaux. Une étude

a signalé des améliorations de la santé et de la croissance des crevettes, via la régulation de la prolifération d'algues et une communauté bactérienne favorable. Des résultats contradictoires ont été rapportés sur la production et le taux de croissance des poissons. La diminution des températures d'eau sous les panneaux est néanmoins reliée à des effets physiologiques, soit négatifs sur les habitudes alimentaires des poissons, soit positifs par réduction du stress thermique pour les poissons et crustacés en été, ainsi qu'à des effets sur la couleur des tissus, muscles et organes des crabes sous panneaux, et d'un raccourcissement de la période de frai des poissons.

Les études disponibles montrent une diminution de la diversité et une augmentation de l'abondance des oiseaux aquatiques, suggérant que les panneaux PV ont causé un effet homogénéisant dans les communautés d'oiseaux favorisant les herbivores qui pourraient utiliser les panneaux comme abri et entravant les oiseaux plongeurs par le blocage de l'accès à l'eau. Ces installations, y compris en mer favorisent les espèces qui réussissent à tirer parti des panneaux, par exemple en chassant des animaux attachés ou s'agrégeant autour des structures flottantes.

Une étude a détecté le relargage d'aluminium et de zinc de tubes et capuchons faits de polyéthylène après 2 semaines, mais aucun test n'a été exécuté sur des êtres vivants. En revanche, une étude a rapporté que les lixiviats de panneaux de silicium cristallin pouvaient causer des déformations réduisant le taux de survie sur *Danio rerio* (poisson-zèbre) et *Daphnia magna*. Le silicium cristallin est la technologie dominante pour les panneaux flottants, ce qui appelle à la prudence sur ces effets toxiques encore mal documentés.

Les panneaux peuvent servir de substrat solide à des groupes vivants comme des *Annelida*, *Arthropoda*, *Bryozoa*, *Chlorophyta*, *Chordata*, *Cnidaria*, *Entoprocta*, *Nemertea*, *Ochrophyta*, *Platyhelminthes* et *Rhodophyta*. Ils sont donc le siège d'interactions de compétition pour l'abri et d'autres ressources. Environ 11% des taxons trouvés sur les flotteurs étaient non-natifs, mais il y a trop peu d'études pour déterminer si les installations solaires flottantes peuvent contribuer à la dispersion d'espèces invasives.

CHAPITRE 5 – APPROCHE PAR LES IMPACTS SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES

Treasure *et al.* (2025) ont réalisé une revue systématique sur les impacts des systèmes de production solaire (panneaux solaires, systèmes agrivoltaïques) sur 11 services écosystémiques. Les données combinent des études de terrain, de la modélisation et des données spéculatives et opinions. La publication présente également des exemples contextualisés pour illustrer le propos. Ils montrent des résultats contrastés : certains services écosystémiques bénéficient clairement des installations solaires, tandis que d'autres déclinent. Ces impacts sont variables et dépendent du contexte climatique, du type

d'écosystème et des pratiques de gestion. Notons l'incertitude qui demeure autour de nombreuses estimations, notamment en raison de la variabilité des conditions de terrain et de la difficulté à isoler les causes précises des impacts observés.

Tableau de synthèse des impacts des systèmes de production solaire sur 11 services écosystémiques

Services écosystémiques	Impacts	Négatifs	Positifs
Service de maintien des habitats et de la biodiversité	Perte d'habitat et fragmentation	<50%	
	Modifications de la composition des communautés	~25%	
	Mortalité et bien-être des espèces	~15%	
	Effets sur la photosynthèse et la productivité	?	
	Amélioration de la diversité et richesse spécifique		~67%
	Survie et bien-être des espèces		?
Service de production alimentaire	Réduction des rendements	~67%	
	Changements d'affectation des terres	?	
	Amélioration de la croissance et des rendements		~86%
	Avantages systémiques de l'agriphotovoltaïsme		~14%
	Bien-être du bétail		?
Régulation du climat	Augmentation de température de l'air	~50%	
	Réduction du carbone du sol	~25%	
	Réduction des précipitations suite à construction hypothétique de grands parcs	?	
	Spéculation sur dégradation générale de régulation climatique	?	
	Réduction de température de l'air		~50%
	Augmentation du carbone du sol		~25%
	Amélioration générale régulation climatique		?
Régulation de la qualité des sols	Dégradation de la qualité physique du sol	?	
	Chimie du sol	?	
	Qualité biologique du sol	?	
	Réduction de température du sol		?
	Amélioration qualité chimique et biologique du sol		?

	Amélioration générale fertilité et pédogenèse		6%
Service de maintien du cycle de l'eau	Raréfaction accrue de l'eau	?	
	Diminution de l'humidité du sol sous panneaux	?	
	Augmentation humidité du sol		~60%
	Potentiel d'amélioration du cycle de l'eau en réduisant la consommation d'eau pour le lavage panneaux et en réutilisant les eaux de lavage pour l'irrigation agrivoltaïque		?
	Collecte des eaux de pluie		?
Service de production de biomasse	Réduction de productivité végétale	~67%	
	Réduction d'approvisionnement en matières premières	?	
	Augmentation quantité et qualité de biomasse		?
	Adaptation gestion pour amélioration approvisionnement		?
Service de régulation de l'érosion des sols	Érosion accrue par canalisation de l'eau	?	
	Perturbations du sol	?	
	Réduction généralisée de l'érosion		?
	Interception des eaux de pluie		?
Service culturel, récréatif et esthétique	Impacts visuels et perception paysagère	?	
	Potentiel d'amélioration		?
Service de pollinisation	Perte d'habitat des pollinisateurs	?	
	Amélioration via décisions et pratiques de gestion		?
Service de régulation des ravageurs et des maladies	Augmentation espèces envahissantes et ravageurs	?	
	Effets sur santé humaine	?	
	Amélioration hypothétique de la lutte biologique		?
	Augmentation du ruissellement	?	

Service de régulation des crues	Amélioration potentielle régulation des inondations		?
	Création d'habitats pour pollinisateurs		?

Service de maintien des habitats et de la biodiversité

Impacts négatifs	61%	Significatif
Impacts positifs	39%	Répartition homogène selon climat/écosystème
Qualité des données	Forte et faible équilibrées	Niveau de preuve mitigé
Variabilité climatique	Homogène	Distribution homogène selon types de climat/écosystèmes
Phase du cycle de vie	Construction	Plus de dégradation en phase construction (perte habitat initiale)

Détails des Impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Perte d'habitat et fragmentation (<50% des impacts négatifs)	<p>Perte réelle ou potentielle d'habitat due à l'expansion des parcs solaires</p> <p>Fragmentation des corridors écologiques et obstacles à la circulation animale</p> <p>Chevauchement avec des aires de conservation et habitats d'espèces rares</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Perte d'habitat du babillard à couronne grise (<i>Pomatostomus temporalis</i>) et de ses nids avant la construction de parcs éoliens en Australie</i></p>
Modifications de la composition des communautés (~25% des impacts négatifs)	<p>Diminution de la diversité et de l'abondance d'espèces sous les panneaux</p> <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Zones sous les panneaux en Oregon (États-Unis) montrant abondance florale, richesse et diversité d'insectes plus faibles que les zones témoins</i></p> <p><i>Comportement affecté chez les chauves-souris : activité réduite en Hongrie et au Royaume-Uni, probablement due à la perte de habitats de recherche de nourriture</i></p>

Mortalité et bien-être des espèces (~15% des impacts négatifs)	<p>Mortalité par collision, accident, brûlures etc.</p> <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Mortalité aviaire estimée entre 2,49 et 11,61 oiseaux MW⁻¹ an⁻¹ dans le sud-ouest des États-Unis</i></p> <p>Grande incertitude en raison de la difficulté à attribuer une cause précise à ces mortalités</p> <p>Mortalité accrue d'oiseaux aquatiques et d'insectes liée à la lumière polarisée</p> <p>Préoccupations relatives aux dommages futurs lors de la mise au rebut des panneaux en phase de démantèlement</p>
Effets sur la photosynthèse et la productivité	<p>Réduction du rayonnement photosynthétiquement actif sous les panneaux</p> <p>Diminution de la productivité, production de biomasse et couvert végétal</p>

Détails des Impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Amélioration de la diversité et richesse spécifique (~67% des impacts positives)	<p>Amélioration, protection et création d'habitats via :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Proximité de végétation ○ Plantation de fleurs sauvages ○ Création d'ombrage bénéfique ○ Intégration au paysage local <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Diversité des coléoptères ténébrionides significativement plus élevée en Asie centrale au sein d'un panneau solaire que sur site non pâturé, bien que cette différence soit marginale</i></p> <p><i>En Chine, augmentation de la richesse et diversité des espèces végétales observées sous les panneaux et entre les rangées</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○
Survie et bien-être des espèces	Oiseaux utilisant les infrastructures pour s'abriter, se percher, nourrir et nicher en Afrique du Sud et États-Unis

	<p>Exemple :</p> <p><i>Désert de Mojave – survie des graines de plantes annuelles augmentée sous l'ombrage et plus grand nombre de tournesols laineux de Mojave (Eriophyllum mohavense, espèce rare) ayant survécu jusqu'à maturité, probablement en raison d'une évapotranspiration réduite à l'ombre</i></p> <p>Les impacts varient selon les espèces, habitats et conditions météorologiques, soulignant l'importance des caractéristiques du site</p>
--	---

Les études n'ont montré aucun effet notable sur :

- L'abondance, la richesse spécifique ou la composition des communautés

Exemple : Aucune modification observée dans l'abondance et structure des communautés de coléoptères en Chine ; pas de variation de richesse ou diversité des fleurs selon l'ombrage aux États-Unis

- La taille d'habitat, les corridors écologiques et les déplacements d'animaux

Exemple : Corridors de compensation en Californie jugés suffisants pour maintenir la connectivité des populations de tortues du désert de Mojave (Gopherus agassizii)

- Les blessures, la mortalité ou l'attraction aviaire pour la lumière polarisée en Australie, Afrique du Sud et États-Unis

Service de production alimentaire

Impacts négatifs	47%	non significatif
Impacts positifs	53%	
Qualité des données	Forte en majorité	Niveau de preuve solide

Détails des impacts négatifs

Impacts négatifs	Description
Réduction des rendements (~67% des impacts négatifs)	<p>Cultures sensibles au rayonnement réduit : blé, maïs, soja</p> <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Corée du Sud – réduction jusqu'à 30% des rendements de sésame, soja et riz</i></p>

	<p><i>France – teneur en matière sèches des pommes cultivées sous panneaux solaires artificiels réduite de 24% (qualité altérée)</i></p> <p>Retards de croissance et de maturation :</p> <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Corée du Sud – croissance plus lente pour les raisins sous panneaux</i></p> <p><i>France – réduction des taux de croissance pour les laitues et les concombres en raison de la réduction de lumière et de la modification de température du sol</i></p> <p>La majorité des données négatives proviennent de climats tempérés, où les avantages potentiels de l'ombrage sont moins évidents</p>
Changements d'affectation des terres	<p>Compromis entre production énergétique et alimentaire</p> <p>Risques potentiels pour la sécurité alimentaire</p>

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Amélioration de la croissance et des rendements (~86% des impacts positifs)	<p>Bénéfices fortement influencés par le climat, le choix des cultures et la conception du dispositif</p> <p>Des avantages notables sont documentés en climats à fort rayonnement solaire via :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Ombrage accru ○ Humidité du sol plus élevée ○ Meilleure efficacité d'utilisation de l'eau <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Arizona (agrivoltaïque) : augmentation de 65% de l'efficacité d'utilisation de l'eau et doublement de la production fruitière sur 1 000 heures</i></p> <p><i>Tomates cerises (Solanum lycopersicum var. cerasiforme) : rendement supérieur sous ombrage</i></p> <p><i>Cultures maraîchères irriguées : économies d'eau de 14% à 29% en évapotranspiration</i></p> <p>En climat tempérés, les rendements sont favorisés lors des années plus sèches</p>

	<p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Étude belge – rendements modélisés augmentés de 12% en 2022 (année plus sèche)</i></p>
<p>Avantages systémiques de l'agrivoltaïsme (~14% des impacts positives)</p>	<p>Amélioration de la résilience du système alimentaire</p> <p>Accroissement de la diversité des cultures</p> <p>Bénéfices de pollinisation pour cultures environnantes</p> <p>Amélioration de l'efficacité globale d'utilisation des terres</p>
<p>Bien-être du bétail</p>	<p><i>Exemple :</i></p> <p><i>États-Unis – sous les panneaux solaires les vaches ont des températures corporelles inférieures avec réduction du stress thermique</i></p> <p><i>Le poids vif des agneaux sous panneaux est comparable à celui de pâturage en plein champ, malgré une densité d'élevage plus élevée</i></p> <p>Néanmoins, les systèmes à suivi lumineux, verticaux ou bifaciaux peuvent avoir impacts potentiellement négatifs (plus de lumière peut réduire les rendements)</p>

Les études n'ont montré aucun effet notable sur :

- la production de fruits (piments jalapeños) entre les cultures ombragées et le plein soleil
- la production laitière chez vaches (même si la respiration est réduite)

Régulation du climat

Impacts négatifs	54%	Données homogènes
Impacts positifs	46%	Données homogènes
Qualité des données	50% forte / 50% faible	

Détails des impacts négatifs

Impacts négatifs	Description
Augmentation de température de l'air	Principalement en régions plus chaudes et plus sèches

<p>(~50% des impacts négatifs)</p>	<p>Au-dessus des panneaux ou zones exposées : transferts de chaleur accrus</p> <p>Températures plus élevées à l'intérieur des panneaux entraînant dissipation de chaleur par convection</p> <p>La nuit ou en hiver : panneaux retiennent la chaleur, élévation température sous panneaux</p> <p>Des modélisations prédisent des augmentations localisées de température de l'air</p> <p>Près d'un quart des données montrent une réduction d'albédo associée aux panneaux solaires (effet plus marqué en environnements désertiques)</p>
<p>Réduction du carbone du sol (~25% des impacts négatifs)</p>	<p>En raison de la réduction de la croissance des plantes sous les panneaux, de la diminution de l'humidité du sol ou de l'augmentation de la salinité et du pH.</p> <p>Conséquences négatives pour régulation climatique</p> <p><i>Exemples concrets :</i></p> <p style="text-align: center;"><i>France, Chine, Italie : réduction du carbone total et/ou organique du sol sous panneaux vs témoins</i></p>
<p>Autres impacts négatifs</p>	<p>Réduction des précipitations suite à construction hypothétique de grands parcs</p> <p>Spéculations sur dégradation générale de régulation climatique</p>

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
<p>Réduction de température de l'air (~50% des impacts positifs)</p>	<p>Potentielle atténuation du changement climatique</p> <p><i>Variable selon contexte :</i></p> <p>En journée, directement sous les panneaux : température réduite grâce à ombrage et rayonnement solaire réduit avec une tendance plus marquée au printemps et été lorsque les températures ambiantes sont élevées</p> <p>Effet d'îlot de fraîcheur : les panneaux captent l'énergie solaire incidente sous forme d'électricité</p> <p>La nuit : les températures sous les panneaux peuvent rester inférieures aux températures ambiantes</p>

	<p>Prairies vs déserts : refroidissement au niveau des systèmes où différence d'albédo moins marquée</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Étude Suuronen et al. – températures de l'air plus basses sous panneaux à fixation fixe vs zones non couvertes et désert chilien ; différences moins prononcées en système à suivi solaire</i></p> <p>Bénéfices additionnels : création de zones humides et plantation de végétation qui réduisent les températures</p>
<p>Augmentation du carbone du sol (~25% des impacts positifs)</p>	<p>La majorité des études sont des prédictions (sans données de terrain)</p> <p>Les terres dégradées converties en centrales solaires ont un potentiel de séquestration carbone avec de la végétation indigène</p> <p>Quelques études de terrain montrent une augmentation du carbone du sol suite à l'implantation de panneaux, en lien avec le couvert végétal</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Aux États-Unis – les zones solaires végétalisées montrent des teneurs en carbone du sol plus élevées que les zones dénudées</i></p>
<p>Amélioration générale régulation climatique</p>	<p>Réduction substantielle des émissions de carbone pour les centrales solaires photovoltaïque comparée à d'autres sources d'énergie</p>

Des études n'ont montré aucun effet notable sur :

- les températures de l'air
- les variables météorologiques et les flux de carbone
- le carbone du sol (possiblement dû aux caractéristiques du site ou à un délai insuffisant depuis la construction).

Régulation de la qualité des sols

Impacts négatifs	55%	Données homogènes
------------------	-----	-------------------

Impacts positifs	45%	Données homogènes
Significativité	88% significative	Niveau de preuve solide
Variabilité climatique	Impacts négatifs en climat tempéré, positifs en climat aride et sec	

Détails des impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Dégradation de la qualité physique du sol	<p>Compactage induit par les engins de construction :</p> <p>Anaérobiose, engorgement, appauvrissement en nutriments, réduction fertilité</p> <p>Modification de la température du sol influençant la croissance, le développement, l'absorption nutriments et impactant la composition des communautés microbiennes et la décomposition de la matière organique</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Corée du Sud (agrivoltaïque) et Chine (région aride) : température du sol plus élevée sous panneaux</i></p>
Chimie du sol	<p><i>Réduction de nutriments, notamment azote, affecté par le décapage de la couche arable et la suppression du couvert végétal. Les faibles concentrations d'azote limitent l'accumulation de matière organique</i></p> <p>Augmentation de salinité observée avec effets néfastes sur croissance des plantes</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>France et Italie : teneurs en azote plus faibles sous panneaux avec diminution concomitante de matière organique du sol</i></p> <p>Concentrations élevées de substances toxiques (plomb, chlore) potentiellement dues à fuites panneaux</p> <p>Contamination par huile de transformateur lors construction</p>
Qualité biologique du sol	<p>Réductions substantielles de la biomasse des micro-organismes du sol et des abondance d'acariens, collemboles, champignons et bactéries Gram négatif</p> <p><i>Exemple :</i></p>

	<i>Italie – réduction générale de l'activité microbienne sous les panneaux attribuée aux conditions environnementales défavorables : humidité du sol réduite, température élevée, salinité accrue, diminution matière organique</i>
--	---

Détails des impacts positifs

Impacts positifs	Description
Réduction de température du sol	<p>En parcs solaires situés en régions arides ou subissant sécheresses accrues</p> <p>Atténue le changement climatique lorsque les températures peuvent être proches des seuils critiques pour certains processus vitaux : productivité, décomposition, germination semences</p> <p><i>Exemples :</i></p> <p><i>Données de Chine, France, et régions arides confirmant les diminutions des températures</i></p>
Amélioration qualité chimique et biologique du sol	<p>Augmentation de l'azote et de la matière organique (étude en Chine)</p> <p>Gestion favorisant formation de biocrûtes (élément clé pédogenèse en écosystèmes désertiques)</p> <p>Restauration potentielle d'écosystèmes arides dégradés</p>
Amélioration générale fertilité et pédogenèse (6% des impacts positifs)	Amélioration de la santé des sols dans certains contextes

Les études n'ont montré aucun effet notable sur certains paramètres du sol entre systèmes PV et témoins : température du sol, nutriments et pH, bactéries et champignons

Service de maintien du cycle de l'eau

Impacts positifs	67%	significatif
Impacts négatifs	33%	Minorité mais notable
Qualité des données	70% forte, 30% faible	Niveau de preuve relativement solide
Contexte favorable	Impacts positifs principalement associés aux climats tempérés, aux écosystèmes agricoles, et à la phase opérationnelle	Données agricoles prédominantes

Détails des impacts négatifs

Impacts négatifs	Description
Raréfaction accrue de l'eau	Utilisation pour le lavage des panneaux Particulièrement critiques en climats secs
Diminution de l'humidité du sol sous panneaux	Principalement due au détournement des eaux pluviales par les infrastructures solaires Effet homogène selon types de climat et écosystèmes

Détails des impacts positifs

Impacts positifs	Description
Augmentation humidité du sol (~60% des impacts positifs)	L'ombrage des panneaux solaires réduit évaporation et permet l'accumulation des précipitations le long des bords des cadres <i>Ces effets sont observés en zones arides et plus tempérées et sont particulièrement marquées durant les mois secs du printemps et de l'été en climats tempérés</i>
Opportunités futures	Potentiel d'amélioration du cycle de l'eau en réduisant la consommation d'eau pour le lavage panneaux et en réutilisant les eaux de lavage pour l'irrigation agrivoltaïque

	Collecte des eaux de pluie
--	----------------------------

Service de production de biomasse

Impacts positifs	59%	Données homogènes
Impacts négatifs	41%	Données distribuées équitablement
Qualité des données	66% forte, 34% faible	Niveau de preuve relativement solide

Détails des impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Réduction de productivité végétale (~67% des impacts négatifs)	L'ombrage des panneaux entraîne une réduction de la productivité primaire nette aérienne et de la biomasse des prairies fourragères Il existe des variations importantes selon la conception des installations, l'humidité du sol, les variations saisonnières/diurnes de la lumière et de la température
Réduction d'approvisionnement en matières premières	Ampleur variable selon le lieu, les modes de construction et de gestion <i>Exemple :</i> <i>Diminution d'accès au bois de chauffage pour habitants près de centrales solaires au Rajasthan, Inde</i>

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Augmentation quantité et qualité de biomasse	<i>Exemple :</i> <i>Oregon (États-Unis) : jardin potager – biomasse augmentée de 90%</i> Qualité et digestibilité du fourrage améliorées
Adaptation gestion pour amélioration approvisionnement	Culture de plantes à biocarburants dans jardins potagers <i>Exemple :</i> <i>Culture de romarin, thym, luzerne (Medicago sativa) dans jardins photovoltaïques en Italie</i>

Service de régulation de l'érosion des sols

Impacts positifs	83%	Hautement significatif
Impacts négatifs	17%	Minorité faible
Qualité des données	52% forte, 48% faible	Niveau de preuve mitigé
Contexte favorable	Écosystèmes agricoles, phase opérationnelle	

Détails des impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Érosion accrue par canalisation de l'eau	Formation de rigoles et ravins sous panneaux
Perturbations du sol	Décapage couche arable Impact sur la végétation et les propriétés du sol, notamment sa sensibilité à l'érosion

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Réduction généralisée de l'érosion	Démontrée dans divers climats et écosystèmes, mais effet probablement plus marqué en régions arides via couverture végétale du sol (enracinement) qui réduit l'érosion éolienne et hydrique
Interception des eaux de pluie	Interception des eaux de pluie et diminution du ruissellement Les panneaux interceptent eaux de pluie, atténuent l'érosion par éclaboussure.

Service culturel, récréatif et esthétique

Impacts négatifs	65%	Non significatif
Impacts positifs	35%	Minorité significative

Confiance élevée	45%	
Confiance faible	55%	Données limitées avec d'importantes incertitudes

Détails des impacts négatifs

Impacts négatifs	Description
Impacts visuels et perception paysagère	<p>Principalement dans les zones naturelles</p> <p>Cet impact diminue le bien-être perçu des populations locales, réduit l'acceptabilité de la solution et a un impact potentiel sur le tourisme</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Dans la province de Jaén (sud Espagne) une enquête auprès des habitants révèle que les zones touristiques étaient les options les moins populaires pour l'installation des énergies renouvelables, par crainte que les infrastructures rendent le paysage moins attrayant pour les touristes</i></p>

Détails des impacts positifs

Impacts positifs	Description
Potentiel d'amélioration	<p>En cas de gestion de la végétation en vue d'une amélioration esthétique ou lorsque les parcs solaires offrent des avantages aux populations locales :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Activités récréatives ○ Rassemblements communautaires ○ Points de vue panoramiques <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>En Italie, proposition de création de « jardins photoécologiques » (espaces verts urbains produisant de l'électricité). Les espaces verts pouvant améliorer humeur, réduire stress et anxiété</i></p>

Service de pollinisation

Impacts positifs	80%	Significatif
Impacts négatifs	20%	Minorité
Qualité des données	20% forte, 80% faible	Niveau de preuve faible, la majorité de ces données sont spéculatives , basées sur opinions ou modélisations
Données empiriques	Manque notable	Besoin recherches terrain
Contexte favorable	Climat tempéré, phase opérationnelle	

Détails des impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Perte d'habitat des pollinisateurs	Modifications de la composition des communautés en raison de : <ul style="list-style-type: none">• L'expansion des parcs solaires• Les impacts potentiels sur la survie et les déplacements des pollinisateurs <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Oregon (États-Unis) – abondance, diversité et richesse des pollinisateurs plus faibles sous panneaux que dans les espaces entre rangées et témoins, possiblement en raison du nombre réduit d'unités de floraison à l'ombre</i></p>

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Amélioration via décisions et pratiques de gestion	Parcelles aménagées avec végétation indigène et fleurs sauvages <ul style="list-style-type: none">• Ressources florales accrues pour pollinisateurs• Habitats améliorés comparés à utilisation antérieure des terres

	<p><i>Exemple :</i></p> <p>États-Unis – dans les zones où l’eau est rare, l’abondance des butineuses de fin de saison florale est accrue en raison du retard de floraison observé entre les rangées de panneaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures pour améliorer les services écosystémiques sont de plus en plus intégrées aux plans de gestion • Recommandations sectorielles et initiatives législatives pour rendre les installations solaires respectueuse des pollinisateurs
--	--

Service de régulation des ravageurs et des maladies

Impacts négatifs	54%	Données homogènes
Impacts positifs	46%	Données distribuées équitablement
Qualité des données	77% faible	Niveau de preuve faible
Variabilité	Homogène selon climat/écosystème/phase	Données limitées

Détails des impacts négatifs

<i>Impacts négatifs</i>	<i>Description</i>
Augmentation espèces envahissantes et ravageurs	<p>Impacts en majorité liés aux travaux de construction et à la phase de gestion</p> <p><i>Exemples d’invasion biologique :</i></p> <p><i>Poirier mexicain (Argemone mexicana) et Mesquite (Prosopis julif.) sont devenus envahissants sur un chantier de construction en Afrique du Sud</i></p> <p><i>Des espèces tolérantes à l’ombre – érodiu à feuilles de cigogne (Erodium cicutarium) et schismus d’Arabie (Schismus arabicus) – ont proliférées dans le désert de Mojave</i></p>

Effets sur santé humaine	<p>Risques de pathologie et d'exposition aux champs électriques et magnétiques</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Infections d'ouvriers après un terrassement de sols contaminés par un champignon tellurique <i>Coccidioide simmitis</i></i></p>
---------------------------------	--

Détails des impacts positifs

Impacts positifs	Description
Amélioration hypothétique de la lutte biologique	<p>Deux tiers des publications concernent des références générales à l'amélioration potentielle de la lutte biologique, de la santé humaine et de la prédation par des ravageurs des cultures.</p> <p>Le niveau de preuve est faible et associé à la proximité de végétation ou l'intégration durable au paysage</p>

Service de régulation des crues

Impacts positifs	31%	Non significatifs
Impacts négatifs	69%	Représentent la majorité des impacts
Qualité des données	100% faible	Niveau de preuve très faible Manque de données de terrain, des recherches complémentaires sont nécessaires

Détails des impacts négatifs

Impacts négatifs	Description
Augmentation du ruissellement	<p>Interception des eaux pluviales par les panneaux solaires imperméables</p> <p><i>Exemple :</i></p> <p><i>Une étude de modélisation montre une réduction à long terme de la rugosité des surfaces sous les panneaux augmentant le ruissellement et le risque d'inondations</i></p>

	<i>Exemple concret : Volume de ruissellement plus élevé après construction panneaux solaires en raison d'apport accru d'eau de pluie dépassant capacité d'infiltration du sol</i>
--	---

Détails des impacts positifs

<i>Impacts positifs</i>	<i>Description</i>
Amélioration potentielle régulation des inondations	<p>Dans le cas de conversion de terres arables en prairies avec couverture végétale :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meilleure stabilité du sol • Couverture végétale accrue • Infiltration plus efficace
Création d'habitats pour pollinisateurs	<p>Dans le cas de transformation d'un milieu non propice (champ cultivé intensivement) en prairie avec installation d'une végétation naturelle ou de plantations mellifères.</p>

CHAPITRE 6 - LACUNES DE CONNAISSANCES ET BIAIS METHODOLOGIQUES

Échelle temporelle

Les recherches sur les caractéristiques de la végétation dans les centrales photovoltaïques portent généralement sur une courte période, tant après la construction des centrales que pendant la durée de la collecte des données. On constate un manque d'études à long terme permettant de détecter les effets et d'analyser l'évolution des communautés. Certains processus réagissent plus rapidement que d'autres : des changements dans la composition floristique ou animale peuvent être détectés peu après la construction, tandis que d'autres processus (modifications des propriétés physico-chimiques du sol, réponses de l'édaphofaune, infiltration ou ruissellement) ont des temps de réponse plus longs et nécessitent un suivi à long terme.

Échelle spatiale

La plupart des recherches sur les impacts des installations solaires ont été menées dans des régions arides (en particulier le sud-ouest des USA), il y a peu de données sur les zones humides, alors même que ces zones hébergent une grande biodiversité. Par ailleurs, les 5 études principales consacrées aux zones humides n'ont étudié que les taux de mortalité au sein d'espèces ciblées et aucune étude ne s'est intéressée aux services écosystémiques. (Anderson *et al.*, 2025). L'impact mal compris des fermes solaires dans les zones fortement boisées et humides nécessite d'évaluer leurs effets adverses potentiels sur les oiseaux migrateurs et les oiseaux aquatiques dans les régions côtières, car les installations solaires à grande échelle peuvent augmenter la mortalité aviaire.

Les études de suivi se concentrent sur l'échelle de l'installation, mais les recherches à l'échelle du paysage et de l'écosystème sont insuffisantes. Les impacts environnementaux cumulatifs des projets d'énergies renouvelables existants et proposés doivent être pris en compte, tant avant la construction que pendant l'exploitation.

Couverture taxonomique et écologique

Les études sur la faune se concentrent principalement sur l'avifaune et les pollinisateurs, tandis que les autres groupes animaux sont peu étudiés.

La littérature aborde principalement des aspects très basiques (richesse et abondance) sans considération des aspects fonctionnels et des interactions entre espèces, des impacts sur le comportement, de la valeur sélective ou de la dynamique des populations. Certaines espèces pionnières peuvent augmenter la richesse ou la diversité dans un premier temps mais l'effet n'est que passager, et plus généralement certains changements sont détectables précocement alors que d'autres sur le temps long.

Ainsi, on manque d'études sur la diversité fonctionnelle des espèces dans les fermes solaires. Par exemple, il peut y avoir une augmentation initiale des spécialistes d'invertébrés et des butineurs au sol, mais il y a aussi la perte potentielle d'autres spécialistes de niche. Cette question de la diversité fonctionnelle (c'est-à-dire les rôles écologiques réels des espèces) est cruciale mais négligée (Anderson *et al.* 2025). De plus, les études physiologiques et phénologiques sur les espèces végétales sauvages sont insuffisantes. Les études examinent rarement les effets sur les vertébrés, ainsi que sur leur physiologie et leur comportement.

Ces aspects et les connaissances associées sont notamment essentiels dans une optique de limitation ou compensation des impacts de ces installations. Dans les cas où une restauration de l'écosystème est envisagée, il est impératif de traiter les facteurs qui ont conduit à sa dégradation sans quoi les efforts seront inefficaces.

Manque d'études et lacunes méthodologiques

Les effets de la pollution électromagnétique sont difficiles à établir par manque de méthodes d'évaluation et restent donc controversés.

Les effets réels des fermes solaires peuvent ne pas être entièrement connus car ils sont souvent évalués sans tenir compte des propriétés d'absorption des surfaces imperméables, conduisant à des estimations inexactes de l'infiltration d'eau et à une surestimation du ruissellement (Anderson *et al.* 2025).

Pour tester les impacts de l'agrivoltaïsme, il manque des études larges englobant diverses cultures (céréales, plantes oléagineuses, betterave sucrière, pomme de terre), des types de prairies variés (prairies de fauche, pâturages), des gammes plus larges de types de sols et de régions bioclimatiques, des évaluations des impacts de tous types de dispositifs (arrays fixes au sol).

Les effets de couverture des panneaux photovoltaïques flottant sur les producteurs primaires peuvent être complexes, et il manque des études sur les impacts sur les interactions écologiques afin de comprendre comment cela peut affecter les cascades trophiques des écosystèmes d'eau douce.

Il n'y a à ce jour pas assez d'études non plus pour comprendre comment et si les panneaux photovoltaïques affectent la croissance et la production d'organismes d'aquaculture. Des pistes de réflexion sur le lien biodiversité-installations agrivoltaïques sont proposées en Annexe 3.

Nous manquons d'études également se concentrant sur les interactions écologiques entre différents groupes d'organismes aquatiques, tels que la compétition, les dynamiques proie-prédateur, les possibles effets de cascades trophiques. Par ailleurs, toutes les études investiguant les animaux aquatiques ont été réalisées en Asie, ce qui limite la généralisation des résultats. De plus, la plupart des recherches se sont concentrées sur des écosystèmes artificiels d'eau douce à petite échelle, limitant la compréhension des impacts à grande échelle ou à long terme. Plus d'études se concentrant sur les organismes aquatiques sont nécessaires afin que la production de connaissances puisse suivre le rythme de la croissance rapide de l'industrie solaire flottante.

Absence de suivi scientifique

Aucun suivi scientifique de l'évolution des écosystèmes après la mise en place de ces installations n'est effectué de manière systématique, ce qui ne permet pas de vérifier la réalité de certains impacts ou de certaines solutions. Les indices de biodiversité doivent intégrer les caractéristiques fonctionnelles, structure et fonctionnement des communautés locales.

Beaucoup d'études manquent de rigueur expérimentale, ce qui limite les comparaisons avant/après installation. De plus, les impacts seront à établir vis-à-vis d'un état ou d'un écosystème de référence, ceux-ci étant à relativiser différemment selon la valeur naturelle de référence.

Les résultats sont biaisés vers les pays riches (Europe, USA), alors que les zones les plus ensoleillées du monde (Afrique, Asie du Sud), sont peu étudiées.

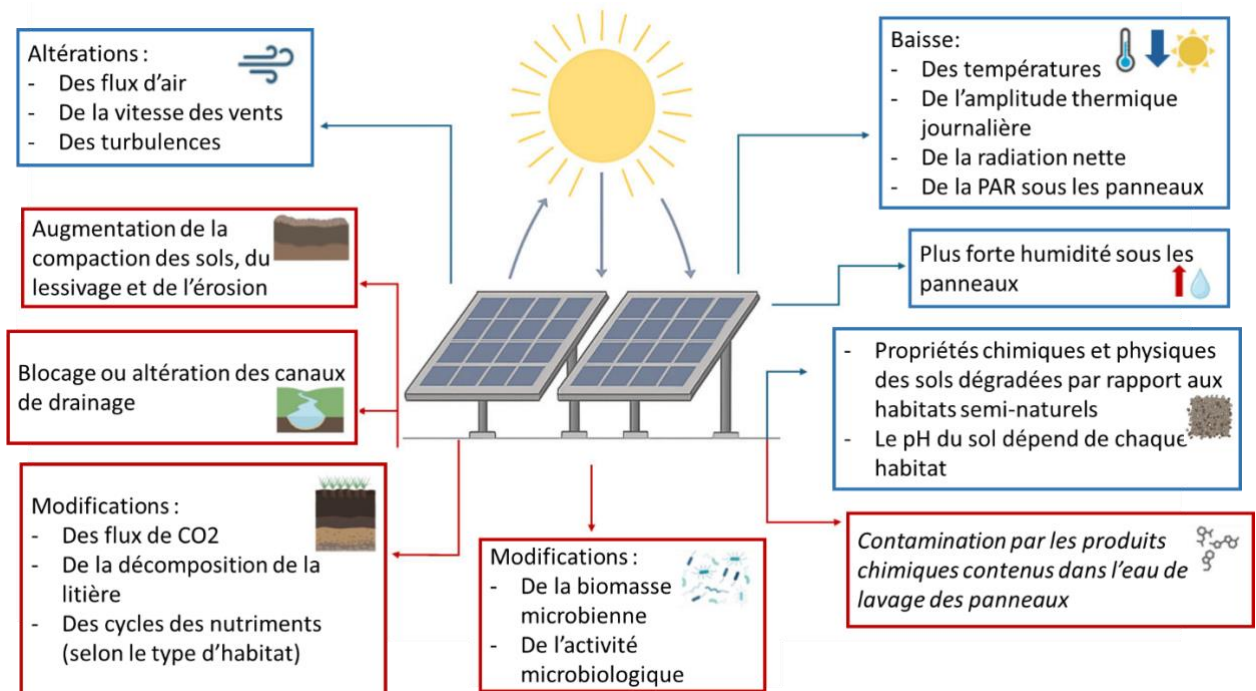
Enfin, 15 % des études comportent des erreurs méthodologiques (mauvais contrôle, facteurs de confusion, etc).

Nous manquons également d'études sur les chauves-souris, les mammifères non volants, les amphibiens et les reptiles, alors que ce sont souvent eux qui pâtissent de la perte d'habitat.

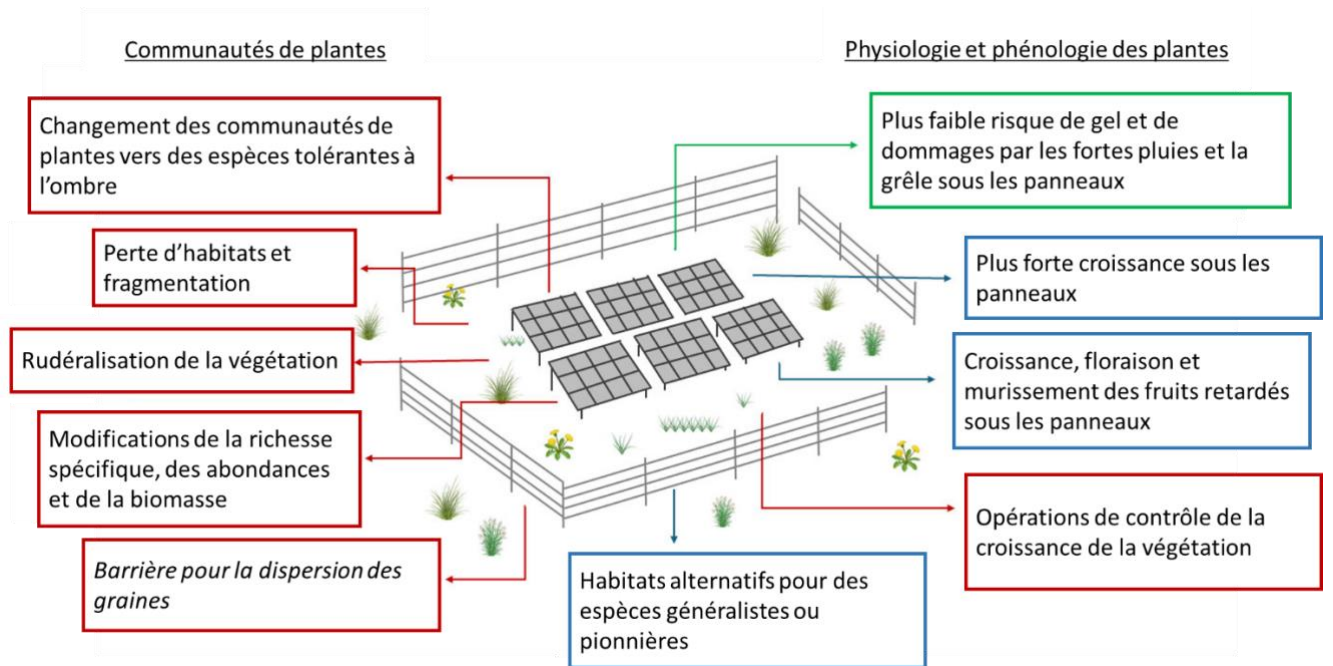
Les chercheurs mettent enfin en avant le peu d'analyses sur les panneaux flottants, les panneaux thermiques, ou les effets du bruit et de la pollution pendant la construction.

ANNEXES

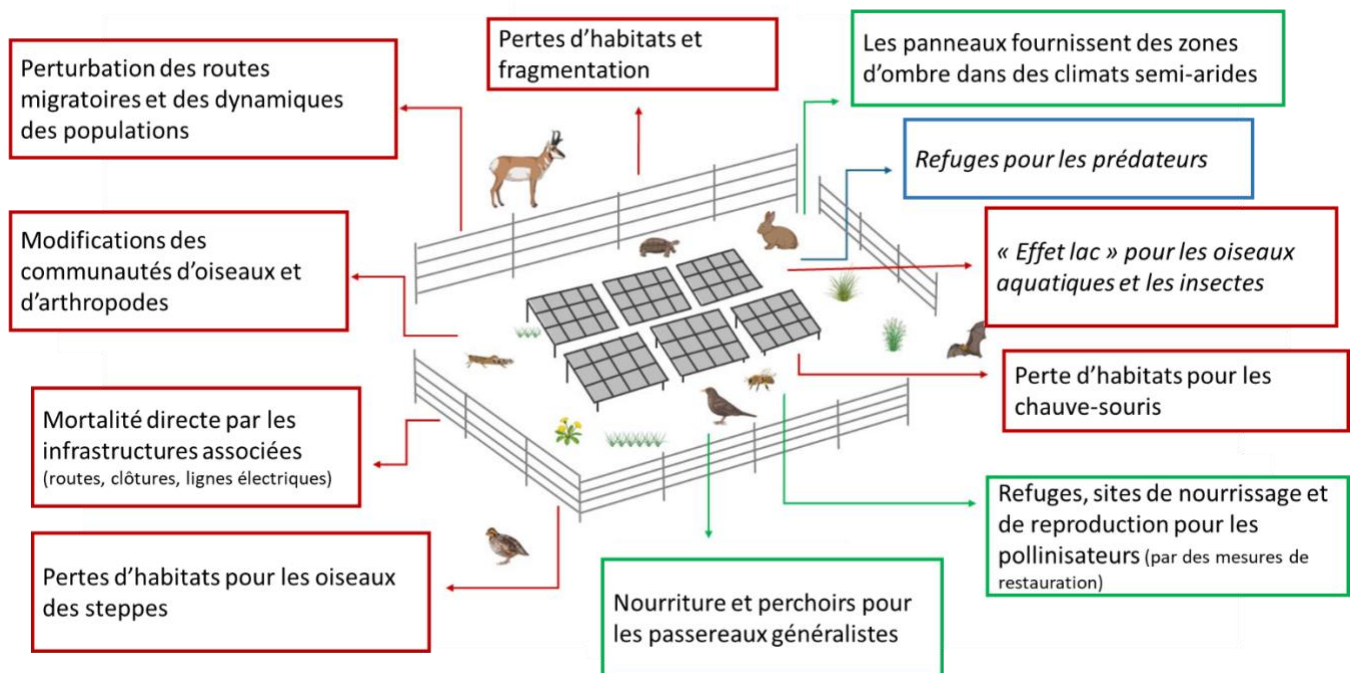
Annexe 1 : résumés graphiques des impacts des installations de PV sur les microclimats et les sols (a), sur la végétation (b) et sur la faune (c). Transcrit d'Iranzo *et al.* (2025).



(a) Résumé graphique des principaux impacts des PVP sur le microclimat et le sol. Les flèches et les encadrés rouges indiquent des effets négatifs. Les flèches et les encadrés bleus indiquent des effets neutres, indéterminés ou variables selon le contexte. Les impacts potentiels identifiés dans la littérature, mais non encore prouvés, sont indiqués en italique.



(b) Résumé graphique des principaux impacts des produits phytosanitaires sur la végétation. Les flèches et les encadrés rouges indiquent des effets négatifs. Les flèches et les encadrés verts indiquent des effets positifs. Les flèches et les encadrés bleus indiquent des effets neutres, indéterminés ou variables selon le contexte. Les impacts potentiels identifiés dans la littérature, mais non encore prouvés, sont indiqués en italique.



(c) Résumé graphique des principaux impacts des produits phytosanitaires sur la faune sauvage. Les flèches et encadrés rouges indiquent des effets négatifs. Les flèches et encadrés verts indiquent des effets positifs. Les flèches et encadrés bleus indiquent des effets neutres,

indéterminés ou variables selon le contexte. Les impacts potentiels identifiés dans la littérature, mais non encore prouvés, sont indiqués en italique.

Annexe 2 : impacts de l'APV sur la biodiversité, effets et mécanismes (Shwarz *et al.*,2025)

Shwarz *et al.* (2025) proposent un tableau résumant les effets et mécanismes par lesquels les systèmes agriphotovoltaïques (APV) sont supposés affecter la biodiversité. Le tableau détaille les effets potentiels des systèmes APV, en s'appuyant sur la littérature existante concernant l'impact des centrales photovoltaïques à grande échelle (USPV) sur la biodiversité, les effets des systèmes APV sur les cultures agricoles et l'effet hypothétique (positif, négatif ou mixte) que ces systèmes pourraient avoir sur la biodiversité.

Variable modifiée	La caractéristique APV à l'origine de l'impact	Taxons touchés	Impact	Trajectoire probable de l'impact	Résultat	Impact potentiel sur la biodiversité
Modification des terres, conversion et destruction des habitats	Installation de systèmes APV sur les champs agricoles existants	Tous	Positif	Prévention de la conversion accrue des habitats naturels Fournir de l'ombre, un abri et un accès à l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la disponibilité des abris • Refuges pour espèces rares 	Positif
			Négatif	Conversion des microhabitats agroécologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Modification de la composition, de la diversité et de l'abondance des espèces • Augmentation des extinctions locales 	Négatif
Structure physique	Panneaux apv, pilotis, clôtures, structures de soutien, structures d'habitat artificiel ajoutées	Espèces proies	Positif	Protection contre les prédateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la disponibilité des abris et des sites de nidification 	Positif

		Espèces non indigènes/espèces locales surabondantes	Positif	Création de conditions microclimatiques favorables Protection contre les prédateurs	<ul style="list-style-type: none"> • Établissement • Extension de gamme • Devenir des ravageurs agricoles • Prédation accrue sur la faune locale • Concurrence accrue avec la faune locale 	Négatif
		Espèces volantes	Négatif	Collision avec des structures	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des effets naturels des ravageurs 	Négatif
		Espèces prédatrices	Positif	Création de sites de perchage	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de prédation accrue 	Négatif
	Structures de support (lignes électriques émettant des rayons UV)	Insectes, oiseaux, rongeurs et grands mammifères	Négatif	Éviter les systèmes APV Éviter le périmètre des lignes électriques	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des effets naturels des ravageurs • Capacité de mouvement réduite • Connectivité réduite des habitats 	Négatif
	Clôtures	Grandes espèces incapables de voler	Négatif	Connectivité réduite des habitats	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbation des voies migratoires 	Négatif

					<ul style="list-style-type: none"> Diversité génétique réduite 	
Pollution	Lumière artificielle la nuit	Espèces nocturnes	Négatif	Perturbation du rythme circadien	<ul style="list-style-type: none"> Changements de comportement Changements de la composition des espèces 	Négatif
		Espèces non indigènes/espèces locales surabondantes	Positif	Augmentation de la disponibilité alimentaire Pénétration de nouveaux environnements	<ul style="list-style-type: none"> Prédation accrue sur la faune locale Concurrence accrue avec la faune locale 	<ul style="list-style-type: none"> Négatif
	Éblouissement	Oiseaux	Négatif	Perturbation des capacités de navigation	<ul style="list-style-type: none"> Interruption des voies de migration 	Négatif
	Lumière polarisée	Oiseaux, reptiles, amphibiens et insectes	Négatif	Attraction pour le panneau photovoltaïque (pris pour une étendue d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> Collision avec des structures Effort reproductif gaspillé Prédation accrue 	Négatif
	Champ électromagnétique		Négatif			Négatif

	généralisé par les câbles du réseau			Effets physiologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Lésions du système nerveux • Perturbation des rythmes circadiens • Modifications des fonctions cardiaques • Immunité et fertilité altérées • Problèmes génétiques et de développement • Modification de la composition, de la diversité et de l'abondance des espèces • Extinction locale • Ruissellement vers les habitats adjacents 	
	Carburants, huiles, lubrifiants, agents anti-poussière	Mammifères sauvages				
Changements microclimatiques	Environnements arides et mésiques	Espèces végétales, fongiques et microbiennes tolérantes à l'ombre	Positif	Humidité accrue du sol Réduction du rayonnement photosynthétiquement actif Température du sol réduite	<ul style="list-style-type: none"> • Modification des taux et des modèles de croissance • Floraison saisonnière plus tardive ou plus précoce • Moins ou plus d'événements de 	Positif

				Température de l'air réduite Humidité relative accrue	<p>floraison saisonnière annuels</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teneur en nutriments modifiée • Refuges pour espèces rares • Atténuation des effets du changement climatique • Concurrence accrue avec les cultures • Augmentation du nombre d'ennemis naturels et d'agents pathogènes 	
					<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation accrue de pesticides et d'herbicides 	Négatif
		Espèces végétales, fongiques et microbiennes intolérantes à l'ombre	Négatif		<ul style="list-style-type: none"> • Composition des espèces modifiée • Exclusion par la concurrence • Extinction locale 	Négatif

		Espèces animales	Positif/négatif		<ul style="list-style-type: none"> • Changement de comportement • Phénologie modifiée • Changements dans les caractéristiques du cycle de vie 	Positif/négatif
		Pollinisateurs	Positif/négatif		<ul style="list-style-type: none"> • Modification des schémas d'activité • Changement du comportement de recherche de nourriture • Efficacité de pollinisation altérée 	Positif/négatif
		Espèces non indigènes/espèces locales surabondantes	Positif		<ul style="list-style-type: none"> • S'établir • Gammes élargies • Devenir des ravageurs agricoles • Prédation accrue sur la faune locale • Concurrence accrue avec la faune locale 	Négatif

Annexe 3

Shwarz *et al.* (2025) proposent des orientations futures pour la recherche sur les interactions avec la biodiversité des installations agriphotovoltaïques :

Effets à petite échelle

- (1) Comment les changements des conditions physiques et/ou biologiques imposés par les structures APV affectent-ils la biodiversité ?
- (2) Quels mécanismes et relations sont favorisés ou déprimés dans les systèmes APV par rapport aux écosystèmes agroécologiques ?
- (3) Les interactions entre espèces changent-elles dans les champs APV et les environnements environnants ?
- (4) Quels sont les effets des systèmes APV sur les groupes fonctionnels (par exemple les prédateurs, les pollinisateurs, les décomposeurs, les pathogènes) et leurs interactions ?

Effets à grande échelle

- (5) Comment les effets sur la biodiversité changent-ils dans les systèmes APV à travers différentes zones géographiques, climats et types d'habitats ?
- (6) Quels sont les effets spatiaux complexes et à grande échelle des structures APV sur les processus macroécologiques (par exemple, la distribution des espèces, la dispersion, les schémas de migration) ?
- (7) Comment le réchauffement climatique devrait-il impacter les effets des systèmes APV sur la biodiversité et sur les espèces vulnérables dans différents types d'habitats ?
- (8) L'écovoltaïque est-elle supérieure aux APV pour promouvoir la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et les services écosystémiques dans tous les habitats ?

Aspects techniques et agricoles des systèmes APV

- (9) Certaines cultures cultivées dans des systèmes APV sont-elles plus bénéfiques que d'autres pour la biodiversité et les écosystèmes environnants ?
- (10) Comment les structures de soutien des systèmes APV (par exemple, clôtures, câbles de grille, pilotis) ont-elles un impact sur la biodiversité ?
- (11) Les différentes technologies de panneaux photovoltaïques (par exemple, les panneaux semi-transparents, les technologies de suivi solaire) affectent-elles différemment la biodiversité ?
- (12) Quelles pratiques respectueuses de la faune sauvage minimisent les impacts négatifs et renforcent les impacts positifs des APV sur la biodiversité et sur les taxons vulnérables ?

(13) Comment la planification des systèmes APV fondée sur la recherche (par exemple, l'emplacement géographique, l'aménagement du système, les relevés des types d'espèces et d'habitats présents, l'ajout de structures d'habitats artificiels) peut-elle améliorer la biodiversité ?