



Projet de centrale photovoltaïque au sol sur la commune de La Courtine

Mémoire en réponse à l'avis n° MRAe 2024APNA16

Date de saisine de l'Autorité environnementale :

Demande de permis de construire :

Dossier N° PC 023 067 23 I0001

Date du dépôt : 29 novembre 2023

Demandeur : COURTINE PV

Représentée par Mathieu DEBONNET

COURTINE PV

55 Allée Pierre Ziller, Atlantis 2

06560 Valbonne

France

8 avril 2024

SOMMAIRE

Sommaire	1
A- Synthèse des recommandations	3
B- Réponses détaillées	3
Recommandation n°1 :	3
Recommandation n°2 :	6
Recommandation n°3 :	9
Recommandation N°4 :	9
Recommandation n°5.....	10
Recommandation n°6 :	11
Recommandation n°7 :	14
Recommandation n°8 :	19
Recommandation n°9 :	23
Recommandation n°10 :	25

Dans le cadre du développement du projet de centrale photovoltaïque au sol mené sur la commune de La Courtine, la société COURTINE PV a déposé une demande de permis de construire en date du 29 novembre 2023.

Vous nous avez transmis en date du 26 février 2024 votre avis de la saisine environnementale démarré par vos services dans le cadre de l'évaluation environnementale de notre projet. Des recommandations ont été formulées pour améliorer certains points de conception de notre projet.

Le mémoire suivant en réponse apporte des éléments de précisions sur les points de recommandations.

A- SYNTHÈSE DES RECOMMANDATIONS

Le mémoire suivant en réponse apporte des éléments de précision sur les points de recommandations suivants :

- Poursuivre la démarche d'évitement et de réduction des impacts en proposant une autre implantation du chemin d'accès,
- Compléter l'analyse des zones humides et gestion de l'eau avec la réalisation d'une étude géotechnique et de nouveaux sondages afin de caractériser de manière plus fine la nature des sols et la qualité d'infiltration,
- S'assurer du strict respect du calendrier des travaux afin de limiter la gêne, notamment pour les espèces protégées nicheuses.

B- REPONSES DÉTAILLÉES

RECOMMANDATION N°1 :

*La MRAE rappelle que le **raccordement du parc photovoltaïque** au réseau public d'électricité fait partie intégrante du projet et recommande que les enjeux environnementaux liés aux opérations de raccordement soient précisés en temps opportun et fassent l'objet de la mise en œuvre de la séquence Éviter Réduire Compenser (ERC). Il en est de même pour les obligations légales de débroussaillage (OLD) imposées au-delà du périmètre clôturé du parc.*

Réponse :

Raccordement de la centrale :

Le projet de La Courtine sera raccordé au réseau public de distribution via un poste de livraison (PDL) qui sera implanté en bordure du projet, accessible depuis la voie publique. Son raccordement est prévu au poste source de Saint-Setiers pour une distance de 12 km.

Il s'agit à ce stade de l'hypothèse la plus probable ; celle-ci et notamment le tracé de raccordement seront définitifs une fois la Proposition Technique et Financière (PTF) réalisée par Enedis. Elle définira de manière précise la solution et les modalités de raccordement (poste source, distance de raccordement) de la centrale photovoltaïque.

Une demande de raccordement auprès d'ENEDIS ne pourra être faite, au travers d'une demande de PTF, qu'après obtention du Permis de Construire (pièce nécessaire à la demande). Le raccordement sera ensuite effectué via une convention de raccordement, qui sera elle-même établie avec le gestionnaire de réseau public.

Comme précisé au sein de l'étude d'impact au II.3.2.4, les travaux de raccordement seront réalisés par et sous la responsabilité d'ENEDIS, gestionnaire du Réseau Public de Distribution. TSE en supporte la charge financière.

Les opérations de réalisation de la tranchée, de pose du câble et de remblaiement se dérouleront de façon simultanée : les trancheuses utilisées permettent de creuser et de déposer le câble en fond de tranchée de façon continue et très rapide. Le remblaiement est effectué manuellement et immédiatement après le passage de la machine.

Ce raccordement suit les axes routiers et les chemins existants et occupe leurs bas-côtés. Les travaux de raccordement seront de courte durée (en moyenne 500 m par jour) et ne nécessiteront que de très faibles mouvements de terres (tranchée d'environ 0,5 m sur 80 cm au maximum de profondeur).

La faible profondeur de tranchée, en accotement du chemin existant, minimise également les risques de pollution ou de drainage. ENEDIS mettra en œuvre les mesures adaptées pour que les travaux restent sans impact sur le milieu naturel et la ressource en eau.

La carte ci-dessous permet de visualiser le tracé prévisionnel de raccordement par rapport aux zonages écologiques.

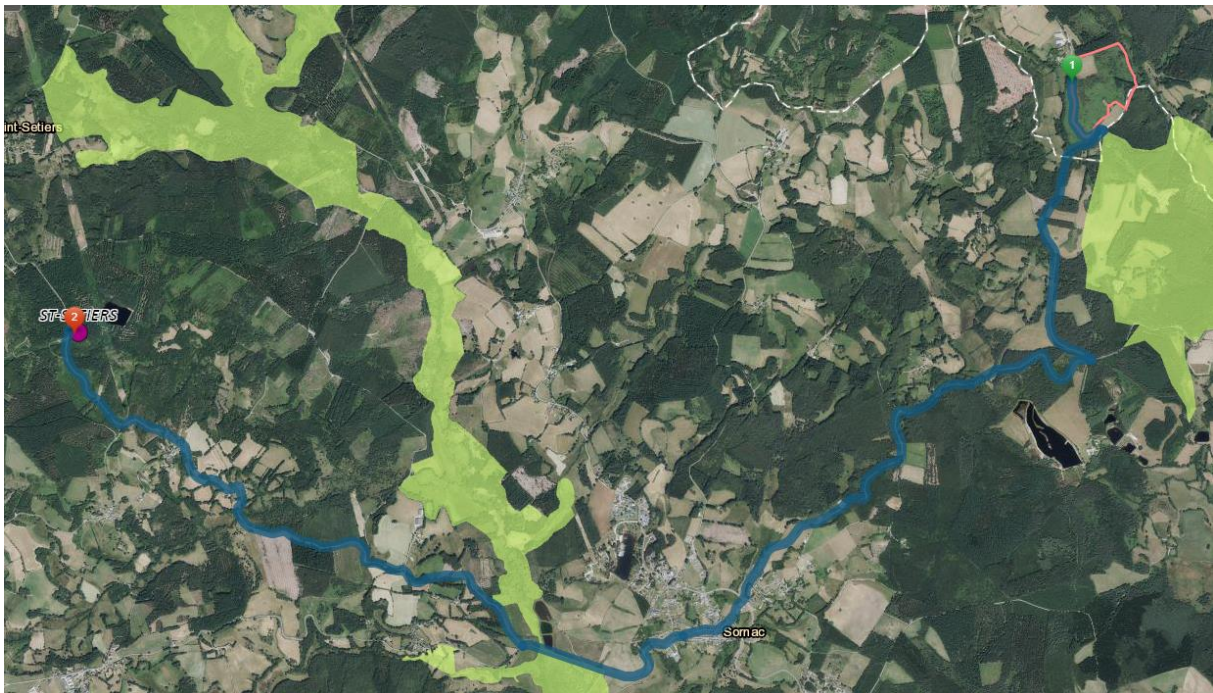


Figure 1 : Tracé de raccordement envisagé pour le projet de la Courtine (1 : PDL / 2 : Poste source de St setiers)

L'hypothèse de raccordement vers le poste de Saint-Setiers, à 12 km à l'ouest du site implique :

- Un passage à quelques mètres de la ZNIEFF Type 1 « ETANGS DU COUDERT ET DOMAINE DE GIOUX », ce qui ne provoquera aucun impact ;
- Un passage le long de la D21, qui traverse une petite portion de la ZNIEFF Type 1 n°740006153 « VALLÉE DE LA DIEGE », au niveau du passage de la rivière. Cette ZNIEFF concerne la rivière de la Diège, un affluent de la Dordogne, et englobe une partie de sa vallée, depuis la commune de Saint-Setiers en amont jusqu'à celle de Chaveroche plus en aval.

La zone comprend divers habitats diversifiés et bien préservés : landes humides, prairies para tourbeuses, aulnaies marécageuses ... Les habitats forestiers bordant la rivière comptent de nombreux

insectes saproxylique ainsi qu'un cortège d'oiseaux forestiers cavernicoles. La vallée abrite également des espèces animales d'une grande rareté, telles que la Moule perlière (espèce en voie de disparition) ainsi que la Loutre d'Europe. En raison de sa position reculée et de sa faible accessibilité, cette portion de vallée est peu impactée par les activités humaines.

On voit bien que les principaux enjeux de cette ZNIEFF sont liés à la faune et flore de la rivière de la Diège ainsi qu'aux habitats développés sur ses abords. Or la D21 longe une bordure de la ZNIEFF puis traverse la Diège au niveau d'un pont. Les milieux ciblés par la ZNIEFF ne sont donc pas concernés par le tracé du raccordement.



Figure 2 : Vue de la D21 au niveau du passage de la Diège (Google Street View)

Le raccordement du parc photovoltaïque s'insère classiquement au niveau d'infrastructures existantes telles que des routes ou pistes et leurs accotements. Les milieux concernés par de tels travaux sont de ce fait initialement anthropisés (zones aménagées = sol remanié, végétation des bas-côtés fauchée...) et sans intérêt patrimonial d'un point de vue écologique. De plus, la nature des travaux n'engendre pas de dérangement prolongé à un même endroit et concerne des surfaces très limitées, de la taille de la tranchée. Le sol est remis en place tel qu'initialement une fois les câbles mis en place.

Par conséquent, aucun impact supplémentaire n'est attendu sur les milieux naturels lors des travaux de raccordement en phase chantier.

En cas d'impacts notables non attendus (modification du tracé prévu...), un complément à l'étude d'impact sera apporté et transmis à l'Ae.

Le raccordement ne nécessite pas ou peu d'intervention (maintenance, entretien) en phase d'exploitation du parc photovoltaïque. Le raccordement n'aura pas d'impact sur le milieu naturel en phase d'exploitation.

Obligations légales de débroussaillage (OLD) :

Le projet photovoltaïque de la Courtine est intégralement situé sur la commune de la Courtine, dans le département de la Creuse. Comme précisé dans le VNEI en page 126, ce dernier n'est pas concerné par la présence d'OLD. Aucun impact en lien n'est donc à prévoir. On retrouve des zonages OLD sur le département voisin, la Corrèze, en limite sud du projet.

En tout état de cause, les obligations résultant de l'OLD située en Corrèze incombe aux propriétaires et porteurs des projets de ce département, et non au projet de la Courtine.

Enfin, dans l'hypothèse où un projet situé en Corrèze se verrait soumis à OLD (débroussaillage sur 50 m autour des installations et 10 m de part et d'autre des voies d'accès), ces dernières n'impacteraient pas le projet de la

Courtine puisque la zone clôturée du projet se trouve à plus de 50 m de la limite départementale. En effet, au point le plus proche, le site du projet est distant de 80 m des zonages d'OLD (situés dans le département voisin).

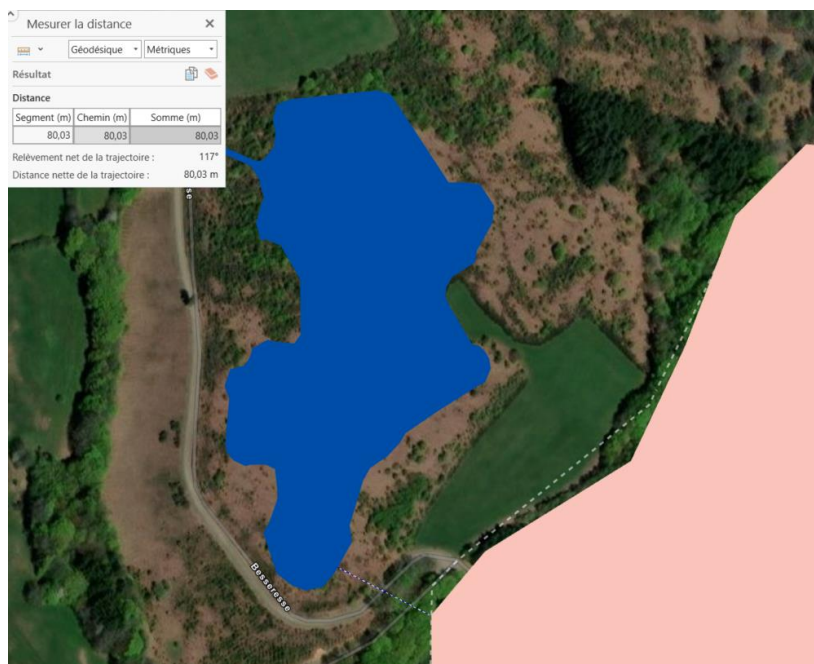


Figure 3 : Localisation des zonages OLD (rose) et distance par rapport au site du projet (bleu) (Source : TSE)

RECOMMANDATION N°2 :

L'implantation du chemin d'accès se situant en grande partie sur l'habitat identifié comme favorable à l'Engoulevent d'Europe, la MRAe recommande de trouver un autre emplacement pour le chemin d'accès et de veiller à réaliser les travaux en dehors des périodes de reproduction des espèces protégées nicheuses.

Réponse :

Le positionnement de la voie d'accès au site du projet résulte du meilleur compromis entre les contraintes techniques imposées par la topographie du site et les enjeux environnementaux identifiés.

En effet, un plan topographique de la zone a été réalisé en amont, afin de déterminer les zones préférentielles pour l'accès des engins sur le site. Il en résulte que la zone présentant le plus faible différentiel d'altitude entre la route et le site et permettant de garantir des manœuvres en toute sécurité (zone sans virage, avec visibilité sur la chaussée dans les deux sens) se trouve au nord-ouest de la ZIP, juste au sud de la parcelle agricole (voir zone matérialisée par un cercle rouge sur la carte ci-dessous).

La seule autre option techniquement viable aurait été le passage de la piste d'accès par la parcelle agricole (déclarée à la PAC) située dans le quart nord-ouest du site. Cette option n'a pas été retenue car cette dernière impacterait également l'habitat de l'Alouette Lulu, en plus d'impacter une surface agricole exploitée.

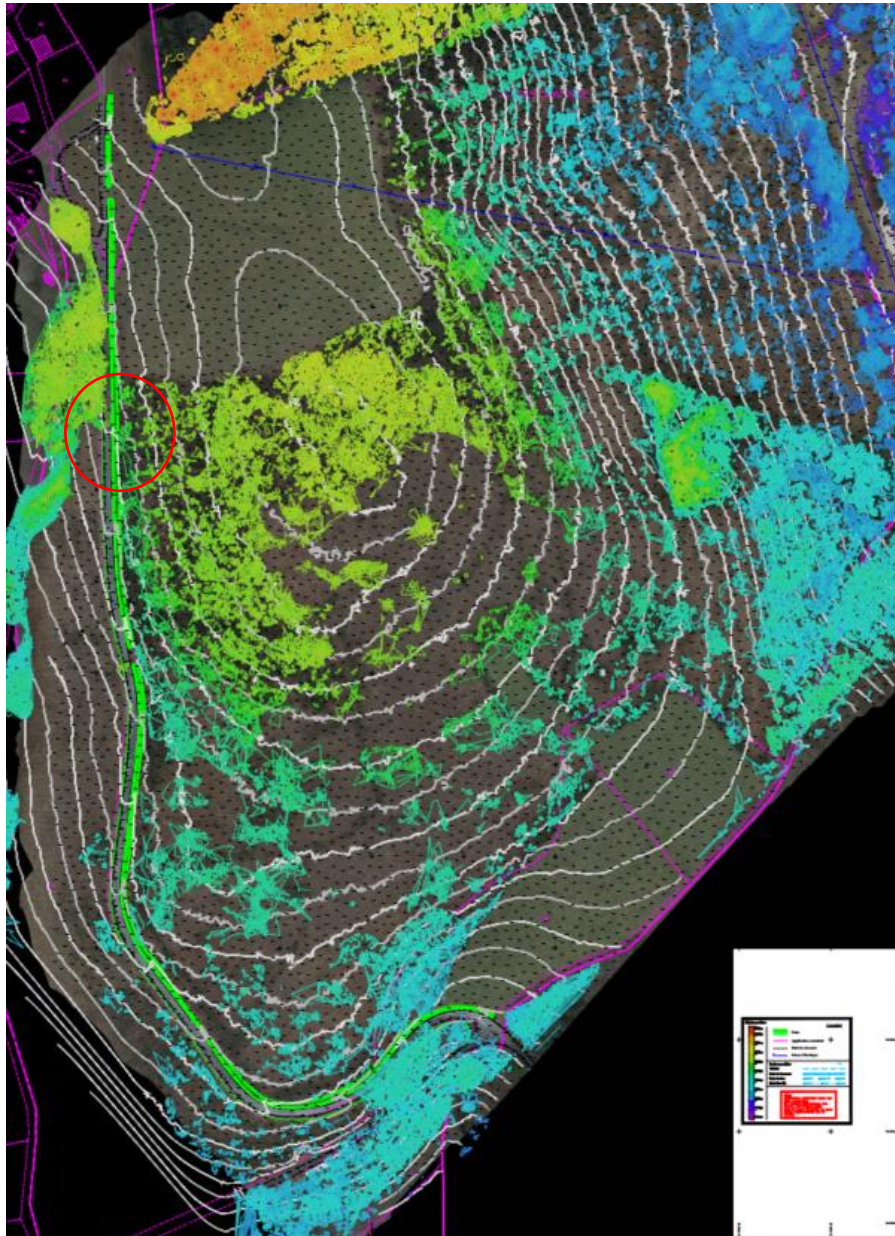


Figure 4 : Plan topographique de l'emprise du projet (source : TSE)

Pour rappel, le projet, dans sa totalité, vient impacter environ 8 285 m, soit 0,829 ha d'habitats d'espèces (respectivement 28 % et 37 % du territoire de nidification) de l'Alouette lulu et de l'Engoulevent d'Europe. Le chemin d'accès seul prévoit un impact sur environ 400 m² d'habitats d'espèces (soit environ 1,4 % d'habitat d'espèces pour l'Alouette lulu et environ 1,8% pour l'Engoulevent d'Europe).

La création du chemin d'accès au sein de l'habitat de l'espèce n'est pas jugé impactant pour sa conservation, l'étude d'impact ayant intégré cet élément dans l'étude de l'impact brut et résiduel du projet sur l'espèce.

Pour rappel, l'étude de l'historique du site montre que le site a tendance à évoluer vers un boisement mixte, au travers la fermeture progressive des milieux ouverts. Pour rappel, en 2015-2016 le site fut intégralement déboisé en laissant des rémanents au sol. Dans un premier temps, cette gestion a favorisé la régénération d'habitats favorables à l'Engoulevent. Depuis, l'absence de gestion induit une évolution des habitats, à terme, défavorable

à cette espèce au travers l'évolution vers un stade forestier (régénération naturelle). Ainsi, le site d'étude tend vers une disparition de l'Engoulevent, à court terme, lié à cette dynamique naturelle.

L'implantation du chemin d'accès (piste d'exploitation) entrainera une réouverture sur ces marges, avec la création de deux lisières de part et d'autre qui seront favorables à la nidification de l'Engoulevent d'Europe dans ce contexte de fermeture de milieu.

Le chemin d'accès au site vient impacter 121 m² (9,4% des habitats associés aux enjeux entomologiques) de bord de route définis habitat d'espèces pour les insectes (rhopalocères et orthoptères). Ces bords de route sont entretenus classiquement par gyrobroyage et présentent un intérêt écologique moindre vis-à-vis des habitats alentours (2,187 ha de fourrés de Genêts à balais, fourrés mésophiles pré forestiers, landes acidiphiles méso-xérophiles basses, ourlets à Fougères aigles et prairies de fauche évités). L'impact brut de l'implantation du chemin d'accès sur ce groupe d'espèces est jugé négligeable suite à l'étude d'impact réalisée.

De plus, afin de prévenir tout dérangement et destruction accidentelle d'individus, TSE s'est engagé à appliquer une mesure d'adaptation du calendrier de chantier pour la faune, prenant notamment en compte les espèces protégées nicheuses. Cette mesure, détaillée en page 129 du VNEI, est reprise ci-dessous :

Mesure de réduction n°5 : Adaptation du calendrier des travaux

Afin d'éviter et/ou de réduire au maximum le risque de destruction accidentelle et de dérangement d'individus, une adaptation du planning des travaux est nécessaire pour prendre en compte les périodes du cycle biologique lors desquelles les espèces sont les plus sensibles.

Il s'agira surtout d'éviter un début des travaux et en particulier la fauche préalable des milieux (préparation du terrain), de mars à début octobre afin de ne pas affecter le cycle de reproduction des insectes (notamment celui des orthoptères et des rhopalocères) **ni d'induire un risque de destruction (de mars à juin) d'œufs et/ou de poussins d'oiseaux nicheurs.**

La période requise pour le début de la phase travaux et pour effectuer la préparation du terrain se situe de début octobre à fin février.

Une fois cette préparation (fauche, abattage, etc.) réalisée, les autres travaux (pistes, creusement des tranchées pour les câbles, installation des clôtures, montage des tables...) pourront être effectués moyennant la mise en œuvre d'un suivi de chantier par un écologue, notamment en période sensible de reproduction de la faune (mars à juillet).

Tableau 34 : Planning préférentiel des travaux

Planning préférentiel des travaux	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Début des travaux : Fauche et/ou abattage (avec exportation) préalable aux travaux												
Autres travaux												

Vert : période adaptée – orange : période adaptée sous conditions – rouge : période inadaptée

Ce même calendrier sera également respecté pour la réalisation des travaux de démantèlement de la centrale.

RECOMMANDATION N°3 :

La MRAE recommande la mise en œuvre de mesures de prévention et de surveillance afin de prévenir le risque de dispersion de l'ambroisie, notamment lors de la phase de travaux.

Réponse :

Le chapitre V.1.5.4 de l'étude d'impact traite en détail du risque d'exposition des populations aux espèces exotiques envahissantes et notamment à l'Ambroisie. Il y est précisé que la présence de cette dernière a pu être recensée sur la commune de la Courtine par la base de données de l'observatoire de la biodiversité végétale de Nouvelle-Aquitaine. L'Ambroisie n'a en revanche pas été recensée sur le site d'étude lors des inventaires botaniques menés sur la ZIP par le bureau d'étude Ecosphère.

Malgré son absence de la zone d'étude, un enjeu fort a été retenu en raison du fort pouvoir colonisateur de cette plante, ainsi que de sa présence sur la commune.

En conséquence, TSE s'est engagé dans son étude d'impact (Page 252, Chapitre V.2.5.5) à respecter l'arrêté n°23-2020-12-22-007 fixant les modalités de surveillance, de prévention et de lutte contre l'Ambroisie mais également à mettre en place les mesures de réduction, d'accompagnement et de suivi suivantes :

- Sensibilisation de l'ensemble des intervenants aux risques liés à cette espèce et formation du personnel de l'exploitant à reconnaître l'espèce et à l'éliminer jusqu'à disparition complète, si sa présence est détectée ;
- Respect des recommandations émises dans le guide d'identification et de gestion des espèces végétales exotiques envahissantes, publié par le Muséum National d'Histoire Naturelle, GRDF, la Fédération Nationale des Travaux Publics et ENGIE Lab CRIGEN (un des centres de recherche d'ENGIE) dans le cadre de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité dont les extraits relatifs à la gestion des espèces envahissantes concernées par le projet sont fournis en pages suivantes ;
- Mention de la problématique espèces exotiques envahissantes (EEE) terrestres sur l'ensemble du processus et dans les contrats passés avec les entreprises à chaque étape de la vie du parc photovoltaïque, avec notamment l'application des clauses suivantes au cours de la phase chantier :
 - o Aucune introduction de remblais extérieurs au site sans vérification préalable de l'absence de contaminations et évacuation des terres contaminées vers un centre agréé ;
 - o Inspection et lavage des engins avant intervention sur le chantier ;
 - o Surveillance et lutte contre les EEEE qui pourrait apparaître durant le chantier ;
 - o Soins particuliers apportés au réensemencement préventif dès la fin des terrassements sur les secteurs qui auraient été mis à nu et surveillance après le chantier.

Le respect de l'ensemble de ces mesures permet ainsi de prévenir tout risque d'introduction ou de dispersion de l'ambroisie sur le site d'étude.

RECOMMANDATION N°4 :

La MRAE recommande de remédier aux faiblesses des études sur les thématiques « zones humides » (voir détail page 5 de l'avis MRAE).

Réponse :

La réponse à cette recommandation est détaillée dans la réponse à la recommandation n°7 de l'Ae.

RECOMMANDATION N°5

Concernant la gestion des eaux pluviales, **la MRAE signale** qu'il conviendrait d'apporter une analyse géotechnique pour s'assurer du niveau d'infiltration des eaux dans le sol et de mieux définir la surface imperméabilisée totale liée au projet.

Réponse :

Comme précisé en page 56 de l'étude d'impact, les panneaux utilisés pour le projet permettent de conserver, grâce à une structure à fondations de type pieux, une surface d'infiltration sensiblement égale à la surface d'origine. De plus, l'espacement des lignes de modules permettra également un écoulement intermédiaire des eaux ruisselant sur les panneaux, limitant ainsi la concentration des écoulements.

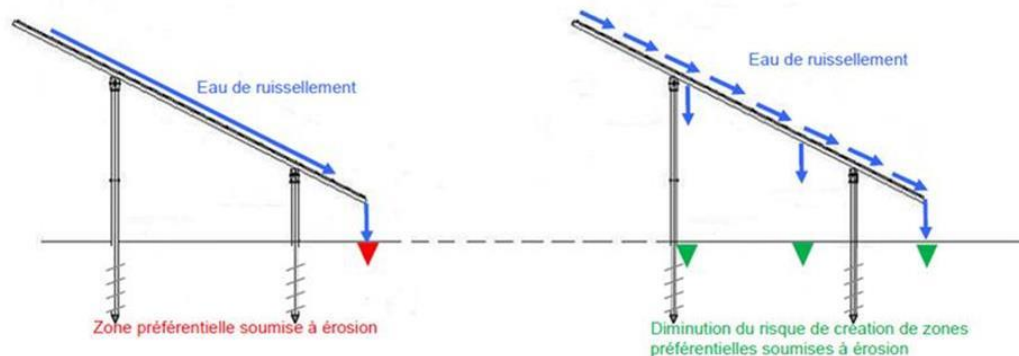


Figure 5 : Gestion des écoulements sur les tables (Gauche : panneaux joints / Droite : panneaux disjoints)

Les pistes intérieures dans l'enceinte du parc photovoltaïque seront constituées de grave concassée naturelle, ce qui n'engendrera pas de surfaces imperméabilisées.

Les structures s'adapteront d'une manière générale à la topographie du terrain, ce qui n'exclue pas un nivellement ponctuel.

Cet ensemble garantira un fonctionnement hydraulique similaire vis-à-vis des eaux pluviales et une diminution des risques d'érosion qui pourraient apparaître au niveau des zones de retombée des eaux de ruissellement sur les panneaux. Les secteurs en pente favorables au ruissellement ayant été évités et la surface d'emprise du parc restant végétalisée, le sol ne subira aucune pression supplémentaire notable.

La couverture végétalisée sera maintenue herbacée par fauche mécanique, tardive (en octobre) avec export des rémanents. Ce couvert permet d'assurer la gestion des eaux à l'échelle du site grâce à l'effet de peignage et de rétention de l'eau par la végétation. Il permet de réduire au maximum, que ce soit en phase travaux ou lors de l'exploitation du parc, les phénomènes de ruissellement et d'érosion même si ici, la nature du sol et le maintien du front de taille réduisent fortement le risque.

Cela permettra aussi de maintenir l'évapotranspiration, de réduire les débits générés par les précipitations à l'aplomb des panneaux et donc le risque d'érosion même s'il apparaît déjà non significatif.

L'impact lié à l'effet "splash" est donc estimé négligeable. Il n'est pas attendu de phénomène érosif significatif du fait de la mise en place des panneaux. L'incidence quantitative du projet sur les eaux pluviales sera donc négligeable à faible.

Enfin, une étude géotechnique de type G2 est systématiquement prévue au stade avant chantier du projet, afin de confirmer notamment le dimensionnement des fondations. De ce fait, une analyse géotechnique n'est donc pas nécessaire au stade actuel du projet.

Enfin, le tableau n°17 en page 66 détaille bien la surface considérée comme imperméabilisée par le projet, à savoir 160 m². Cette surface comprend :

- La surface des postes techniques ;
- La surface de la citerne ;
- La surface des pieux.

RECOMMANDATION N°6 :

Sur la thématique « milieu physique », la MRAE recommande :

- de présenter un bilan des **émissions de gaz à effet de serre** du projet sur l'ensemble de son cycle de vie, en se référant au guide méthodologique de février 2022 (Ministère de la Transition Écologique) relatif à la prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans les études d'impact, et de préciser les mesures permettant de les réduire. Le bilan devrait notamment prendre en compte, le lieu et le mode de production des matériaux, le transport jusqu'au site du projet, la phase de travaux, l'entretien, et la phase de démantèlement ;
- de présenter une analyse de la vulnérabilité du projet aux effets connus du **dérèglement climatique**, ses conséquences en matière d'environnement et les mesures prévues pour diminuer cette vulnérabilité et atténuer ces conséquences.
- de détailler les dispositions retenues pour la prise en compte du **risque incendie** à l'intérieur et autour de l'emprise du projet, et de confirmer si ces dispositions ont bien été validées par les services de défense incendie (SDIS).
- de justifier en phase travaux et exploitation de la maîtrise des **risques de pollution du milieu récepteur**, et notamment du réseau hydrographique et des sols. Le choix de la technologie en matière d'ancrage doit être précisé et justifié en lien avec la réversibilité du projet et la protection du sous-sol. L'étude devrait prévoir des mesures de contrôle adaptées si l'implantation est réalisée sur un terrain ayant accueilli des activités polluantes pour les sols et les nappes d'eaux souterraines ;
- de préciser les modalités **d'entretien et de nettoyage** des panneaux en phase d'exploitation, permettant de garantir une utilisation économe de la ressource en eau, en précisant les mesures prises pour réaliser les économies, en intégrant dans les réflexions les effets potentiels du dérèglement climatique (sécheresse, pollens, vents de sable, pollution etc)

Réponse :

Emission de GES :

Les incidences du projet sur les émissions de gaz à effet de serre sont détaillées en pages 113 à 119. De plus, la note annexée au présent mémoire reprend le bilan carbone présenté dans l'étude d'impact en détaillant les sources de données utilisées ainsi que les hypothèses de calcul. Les données utilisées se basent notamment sur le guide méthodologique de février 2022.

Le chapitre III.3.3.3 en page 118 de l'étude d'impact reprend les mesures de réduction envisagées pour limiter au maximum l'empreinte carbone du projet, à savoir :

- Prise en compte de l'empreinte carbone dans le choix des prestataires ;
- Choix de modules photovoltaïques à faible empreinte carbone ;

- Privilégier les modes de transport les moins émetteurs de carbone pour le transport depuis l'usine de fabrication des modules jusqu'à la centrale.

Il en résulte un impact très limité du projets sur les émissions de gaz a effet de serre, qui sont d'ailleurs largement compensées par l'évitement d'émission permis par le projet (en 40 ans, 6033 tonnes équivalent CO2 par rapport au mix énergétique français).

Dérèglement climatique :

Nos installations solaires sont vulnérables au changement climatique par quatre aspects :

- L'impact des augmentations de températures sur la production photovoltaïque. Au-dessus de 25°C, pour chaque degré d'augmentation de température, une perte de rendement de 0,5 % est attendue. Cette perte potentielle de productible future est prise en compte lors du dimensionnement de nos centrales, et ne remettra pas en cause l'intégrité financière du projet.
- L'augmentation des risques d'incendies pouvant mettre en péril l'intégrité des structures : nous faisons ici confiance aux préconisations du SDIS du département de la Creuse que nous respectons scrupuleusement.
- L'augmentation de l'intensité des rafales de vent pouvant mettre en péril l'intégrité des structures : aucune tendance de modification des extrêmes de vitesse de vent n'est aujourd'hui détectée sur le périmètre de la Courtine. Le dimensionnement est ainsi fait sur la base des données historiques.
- Les changements d'inclinaisons des panneaux causées par des glissements de terrain : ce risque ne concerne pas le site d'implantation du projet. De plus, les mesures d'évitement technique prise en prévention des effets du projet sur les risques naturels (CF chapitre III.3.5.1 de l'étude d'impact) viennent garantir l'absence d'impacts liés aux glissement de terrain.

Risque incendie :

Plusieurs mesures sont prévue afin de prévenir le risque d'incendie sur la centrale :

- Un système de télésurveillance sera mis en place, permettant une coupure à distance de l'installation.
- Afin d'éviter un feu d'herbe à la suite d'un court-circuit, les câbles de raccordement entre les panneaux photovoltaïques et les onduleurs feront l'objet d'une protection appropriée.
- Conception de la centrale :
 - o Une desserte de l'ensemble du site ;
 - o Le portail d'accès, muni de dispositif d'ouverture/fermeture compatible SDIS 23 (tricoises), sera conçu et implanté afin de garantir en tout temps l'accès rapide des engins de secours du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS).
 - o Une citerne incendie de 120 m³ ;
 - o Un extincteur approprié aux risques à l'extérieur des bâtiments électriques ainsi qu'une porte coupe-feu (2 heures). ;
- Les consignes indiquant la conduite à tenir en cas d'incendie seront affichées définissant la nature et les emplacements des installations photovoltaïques ainsi que les modalités d'alerte des sapeurs-pompiers : numéro 18 et adresse de l'installation. ;
- La couverture végétalisée sera maintenue herbacée par fauche mécanique, tardive (en octobre) avec export des rémanents. La hauteur de la végétation ainsi entretenue permettra d'éviter la prolifération des arbustes sur le site (fermeture naturelle largement engagée) et donc, de limiter le combustible favorable aux départs de feux.

La commune de la Courtine a été consultée afin de connaître l'historique du site en matière d'incendie. Il s'avère que ce dernier n'a été parcouru par aucun incendie au cours des 15 dernières années.

Enfin, le SDIS de la Creuse a été consulté et l'ensemble des préconisations faites ont été prises en compte dans la conception de la centrale.

Risques et pollution du milieu récepteur :

Les structures seront ancrées via l'intermédiaire de pieux métalliques battus dans le sol à l'aide d'un marteau hydraulique. Une étude géotechnique sera réalisée en phase d'études pré-construction afin de caractériser précisément les propriétés mécaniques du sol et pour définir la longueur des pieux métalliques ou un recours à un renforcement des pieux. La profondeur d'ancrage sera d'environ 2 mètres (± 50 cm). Ce type de fondation ne représente pas un risque pour les eaux souterraines puisque la faible profondeur d'ancrage ne risque pas de poster atteinte aux sols et aux aquifères présents dans la zone. En effet, la zone d'implantation repose sur des formations métamorphiques (roches cristallines). Les sols du secteur, dominés par les Alocrisols, sont moyennement épais à épais (colluvions chargés en éléments grossiers reposant sur une arène de migmatite).

En ce qui concerne le réseau hydrographique, aucun cours d'eau n'est recensé au droit de la ZIP. Les cours d'eau les plus proches se trouvent de part et d'autre de la ZIP, en fond de talweg. Un ensemble de mesures préventives et réductrices, détaillées dans le chapitre III.3.4.1 de l'étude d'impact, permettent de n'attendre aucun effet notable sur la qualité des eaux souterraines et superficielles. Le projet ne génère pas de rejet, de prélèvement sur les eaux superficielles ou souterraines, d'effet sur le milieu aquatique, ni de modification du sens des écoulements. Le risque de pollution du milieu récepteur est donc jugé négligeable.

La structure tout comme l'ensemble de la centrale sont des éléments entièrement réversibles. L'ensemble des installations est démontable (panneaux et structures métalliques) et les fondations peu profondes seront facilement déterrées. Les locaux techniques (pour la conversion de l'énergie) et la clôture seront également retirés du site. A l'issue de la durée d'exploitation prévue de la centrale (environ 40 ans), l'ensemble des composants de la centrale seront donc démantelés, afin de restituer au propriétaire de la parcelle un terrain remis dans son état initial.

De plus, comme précisé dans le chapitre III.1.4 en page 82 de l'étude d'impact, l'étude de la bibliographique et des bases de données existante (BASIAS, BASOL) a permis de mettre en évidence l'absence d'activités potentiellement polluantes au droit de la ZIP ou de ses abords. Aucune mesure spécifique en lien avec cette thématique n'est donc à prévoir pour le projet.

Entretien et nettoyage des panneaux en phase exploitation :

Le changement climatique va entraîner des tensions sur le partage de la ressource en eau en France comme en Nouvelle Aquitaine. Dans le périmètre de la Courtine, il est attendu d'ici 2050 une baisse significative de la recharge des nappes de l'ordre de -20 à -30 % [BRGM, EXPLORE7]. Pour le même horizon temporel, une diminution relative de la moyenne des débits des cours d'eau allant jusque 20% par rapport à la période 1976-2005 est attendue. Dans ce contexte, TSE porte naturellement une attention particulière sur les économies d'eau.

Ainsi, comme indiqué en page 62 de l'étude d'impact, aucun nettoyage des panneaux n'est prévu, il ne sera effectué que si nécessaire. Aucune fréquence fixe de nettoyage n'est donc définie. Si un nettoyage est jugé nécessaire, ce dernier sera effectué à l'eau claire sans aucun produit spécifique.

En l'absence de source de poussière particulière à proximité du parc, les nettoyages sont généralement rares au cours de l'exploitation du parc. Entre 2007 et 2021, l'augmentation de l'index pollinique annuel moyen en Nouvelle Aquitaine a été de 5%, passant de 30 000 à 35 000. Même si l'évolution du pollen suit la même

trajectoire pour les 50 prochaines années, étant donné le faible index pollinique du périmètre de la courtine, la fréquence de nettoyage des panneaux ne devrait pas s'en trouver augmentée.

Aucune information scientifique robuste n'est à l'heure actuelle disponible pour quantifier les effets du changement climatique sur les transports de poussières désertiques du Sahara vers la France. Des études sont en cours, mais ne nous permettent pas d'affirmer ou d'infirmer une quelconque tendance quant au salissement des panneaux photovoltaïques attribuées aux poussières désertiques. D'expérience, à l'échelle française, cela représente actuellement au maximum une opération de nettoyage tous les deux ans.

RECOMMANDATION N°7 :

Sur la thématique « milieux naturels », la MRAE recommande :

- *de présenter une analyse de l'état initial de l'environnement basée notamment sur des investigations proportionnées aux enjeux du site, en identifiant ces derniers sur toutes les périodes de l'année. Il est demandé notamment :*
 - *de produire une carte de synthèse de la hiérarchisation des enjeux du site (habitats naturels, faune et flore, habitats de repos, de reproduction et d'alimentation), en précisant et justifiant la méthodologie employée et en démontrant la pertinence de la hiérarchisation réalisée,*
 - *de superposer le plan masse du projet sur cette carte,*
 - *de justifier l'absence d'évitement des secteurs les plus sensibles,*
 - *de quantifier les incidences résiduelles du projet après application des mesures d'évitement et de réduction d'impacts. Il appartient notamment au pétitionnaire de traiter la question de la destruction éventuelle des espèces protégées et/ou de leurs habitats naturels à l'occasion de la réalisation du projet. La justification d'absence de nécessité de recourir aux dispositions dérogatoires prévues au Code de l'environnement portant sur la destruction d'espèces protégées doit être démontrée ;*
 - *de tenir compte des fonctionnalités écologiques en intégrant à l'analyse les continuités écologiques (et/ou trames verte et bleue) et le cycle de vie des espèces.*

- *de produire un **diagnostic des zones humides** qui corresponde au cumul des terrains répondant à l'un au moins des deux critères pédologique ou floristique au sens de l'article L.211-1 du Code de l'Environnement. Il est demandé notamment :*
 - *de produire une carte des zones humides, sur la base d'un nombre de sondage proportionné à la superficie du site (en l'état 4 sondages sur 18 ha apparaît très faible) ;*
 - *de superposer le plan masse du projet sur cette carte;*
 - *d'analyser les fonctionnalités des zones humides, le maintien de ces dernières pouvant nécessiter des mesures supplémentaires à l'évitement surfacique des zones humides identifiées;*
 - *de redéfinir le contour du projet en évitant les zones humides identifiées, ou, à défaut, de justifier l'absence de leur évitement;*
 - *de quantifier les incidences résiduelles du projet après application des mesures d'évitement et de réduction, en tenant compte notamment des fonctionnalités des zones humides, et de prévoir des mesures de compensation en cas d'incidences non nulles;*
 - *de prévoir un contrôle en phase exploitation de la pérennité des zones humides au sein de l'emprise de la centrale.*

- *de prendre en compte les liens fonctionnels pouvant exister entre le site du projet et les sites dans l'évaluation des **incidences sur les sites Natura 2000**, la distance géographique n'étant pas un critère suffisant pour justifier l'absence d'incidences notables ;*

- *d'intégrer dans les analyses précédentes les incidences des dispositions retenues pour la prise en compte du **risque incendie**, notamment les obligations légales de débroussaillage et déboisement,*

- de prévoir des mesures de suivi par un écologue, permettant de vérifier l'impact effectif du projet sur la **biodiversité** et de prévoir des mesures correctives le cas échéant;
- de préciser **les modalités liées au démantèlement** du parc en fin d'exploitation, en indiquant la vocation ultérieure du site et les engagements pris pour la remise en état du site et le recyclage des panneaux.

Réponse :

Etat initial de l'environnement :

L'état initial de l'environnement est présenté dans les chapitre 2 et 3 du VNEI, et repris dans le chapitre IV.1 de l'étude d'impact. Cette partie présente le contexte écologique du site d'étude sur la base d'une étude bibliographique, ainsi que des inventaires de terrains menés entre janvier et fin septembre 2022.

Les inventaires des habitats, de la flore et de la faune menés dans le cadre de ce diagnostic conduisent à une analyse permettant la localisation et la hiérarchisation des enjeux écologiques.

La carte superposant la synthèse de hiérarchisation des enjeux avec le plan masse du projet est présentée en page 106 du VNEI, et reprise ci-dessous :

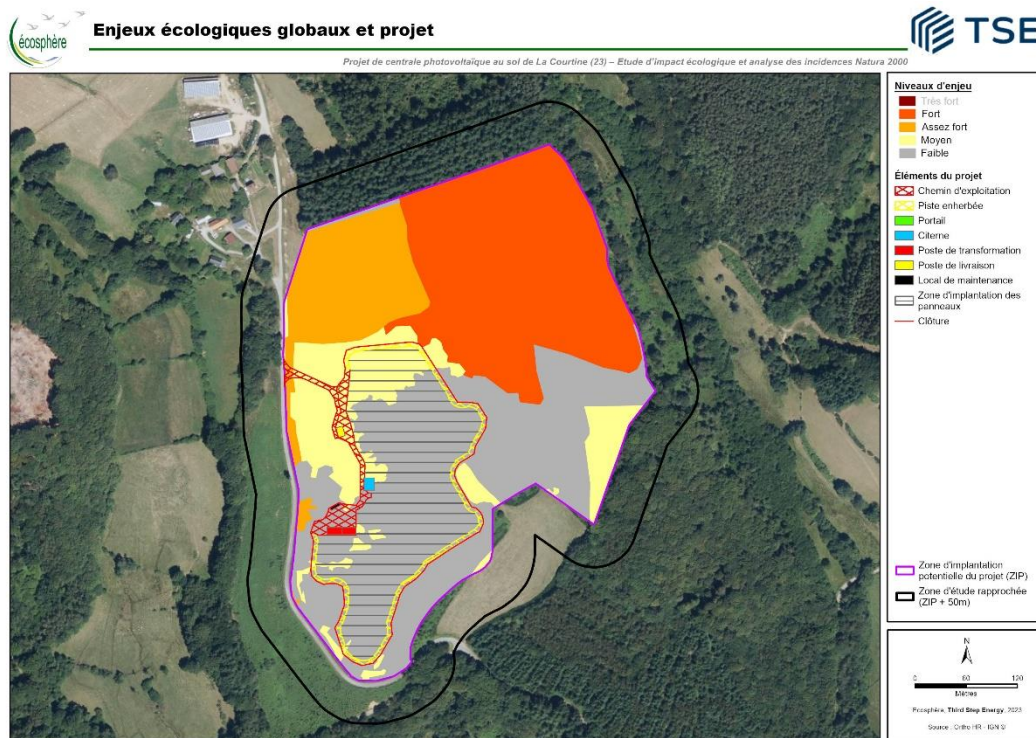


Figure 6 : Carte superposant le plan masse du projet et la synthèse de hiérarchisation des enjeux

La méthodologie de de l'évaluation des enjeux écologiques est détaillée dans le chapitre 3.4 en page 51 du VNEI.

Les secteurs les plus sensibles, matérialisés en rouge sur la carte (enjeu fort) sont bien évités par le projet, qui s'implante très majoritairement sur des zones à enjeu faible ou moyen. Un très petite zone au niveau de la piste à l'entrée du site est en enjeu assez fort.

Mémoire en réponse à l'avis de la MRAE

Les incidences résiduelles du projet après application des mesures d'évitement et de réduction sont détaillées dans le tableau en page 132 du VNEI :

Type d'habitat sous effet d'emprise (4.6 ha)	Niveau d'enjeu écologique et surfaces concernées	Impact brut	Evitement global	Réduction/accompagnement	Impact résiduel
Friches herbacées	MOYEN à LOCALEMENT FORT (0,031 ha d'enjeu FORT lié à l'entomofaune et 0,025 ha d'enjeu MOYEN lié à la flore)	NEGLIGEABLE (impact sur 0,002 ha d'enjeu MOYEN)	Evitement en amont de 0,055 ha (sur 0,057 ha d'habitat total) dont 0,031 ha lié à l'entomofaune et 0,024 ha lié à la flore	. Calendrier des travaux adapté . Suivi de chantier par un écologue . Restitution de milieux ouverts entre les tables . Gestion par fauche tardive . Mise en défens des pieds de Jacobée à feuilles d'adonis	NEGLIGEABLE
Fourrés de Genêts à balais	FAIBLE à localement MOYEN à FORT (1,162 ha d'enjeu FORT lié à la Vipère péliade, 0,024 ha d'enjeu MOYEN lié à l'avifaune)	NEGLIGEABLE (impact sur 0,043 ha d'enjeu FAIBLE)	Evitement en amont de 1,391 ha (sur 1,434 ha d'habitat total) dont 1,162 ha d'habitat de la Vipère péliade et 0,024 d'habitat de l'Alouette lulu et de l'Engoulevent d'Europe	. Gestion favorable au maintien de la Vipère péliade . Calendrier des travaux adapté . Suivi de chantier par un écologue	NEGLIGEABLE
Ourlets à Fougère aigle parsemées de ligneux	FAIBLE à localement MOYEN à ASSEZ FORT à FORT (0,091 ha MOYEN lié à l'avifaune, 0,013 ha ASSEZ FORT lié à l'entomofaune et 2,074 ha d'enjeu FORT lié à la Vipère péliade)	NEGLIGEABLE (impact sur 0,071 ha d'enjeu FAIBLE)	Evitement en amont de 2,206 ha (sur 2,277 ha d'habitat total) dont 0,091 ha d'habitat de reproduction de l'Alouette lulu et de l'Engoulevent d'Europe, 0,013 ha lié à l'entomofaune et 2,074 ha associés à la Vipère péliade	. Restitution de milieux ouverts entre les tables . Gestion par fauche tardive	NEGLIGEABLE

Suite aux mesures d'évitement amont et aux mesures de réduction, les impacts résiduels du projet sont NEGLIGEABLES en lien avec les mesures d'évitement mises en œuvre dès la conception du projet et les mesures d'évitement et de réduction mises en place pour les phases travaux et exploitation.

La synthèse des enjeux liés aux espèces protégées et la justification d'absence de nécessité de recourir aux dispositions dérogatoires est présentée dans le chapitre 9 du VNEI. Cette dernière a bien conclu à l'absence d'impact significatif du projet sur l'ensemble des espèces protégées présentes. Il en résulte qu'une demande de dérogation au titre des espèces protégées n'est pas nécessaire.

Enfin, l'évaluation des impacts du projet sur les fonctionnalités écologiques est réalisée dans le chapitre 7.4.5 du VNEI. Cette évaluation inclut notamment les impacts sur les fonctionnalités au niveau des continuités écologiques. Cette analyse a conclu à un faible impact du projet sur les fonctionnalités écologiques, et notamment sur les continuités existantes qui ne seront que peu impactées par le projet, la grande et la mésofaune étant capables de le contourner aisément le projet, suivant les corridors existants.

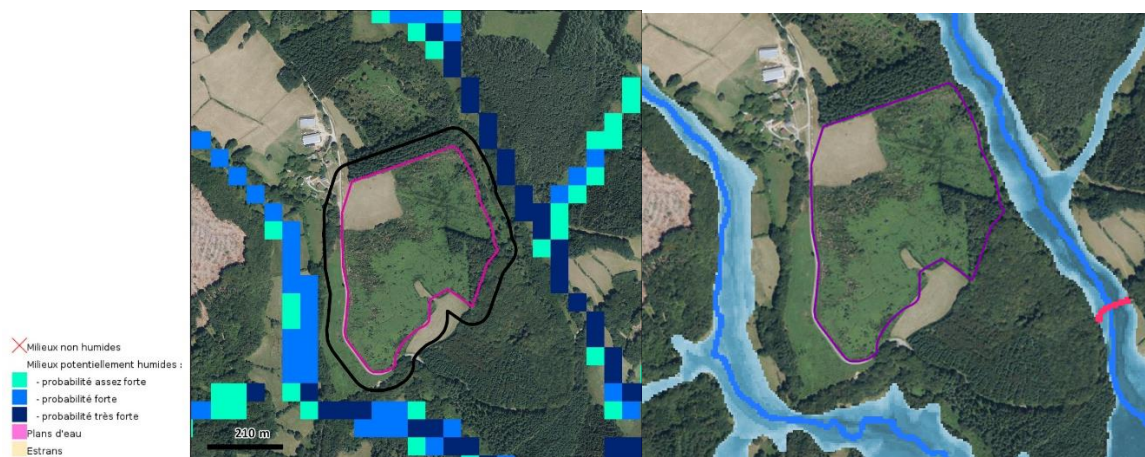
Diagnostic zones humides :

La délimitation des zones humides du projet de la Courtine a été réalisée conformément aux dispositions de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié le 1er octobre 2009. Selon cet arrêté, une zone est considérée comme humide si elle satisfait l'un des critères suivants :

- Critère « sol » ;
- Critère « végétation ».

Il est important de noter que le site d'étude s'inscrit sur une butte topographique sur gneiss, qui représente un contexte géomorphologique défavorable à la présence de zones humides. Cette hypothèse est corroborée par l'Unité Cartographique de Sol (UCS) définie dans ce secteur : « sols boisés et pâturés sur anatexite des hauts plateaux de la Courtine ». Cette UCS regroupe à 90% des sols non hydromorphes et 10% correspondant à des fonds de talwegs (apports alluviaux ou colluviaux). Ces 10% correspondent très probablement au bas de versant au NE du site.

La modélisation nationale des zones humides potentielles ((INRA et AgroCampus Ouest) montre l'intérêt des fonds de vallons et la probabilité faible de la ZIP.



Cette approche prédictive a été complétée par une modélisation des flux de ruissellement et des zones d'accumulation de ces eaux de ruissellement qui coïncide avec la ZH identifiée au NO. L'analyse des habitats a permis d'identifier une ZH sur la base de la végétation en limite NE de la ZIP. Ailleurs, la végétation n'est pas caractéristique de zone humide. Il est mentionné que « Aucun relevé floristique selon la méthode décrite dans l'arrêté de 2008 n'a été réalisé en l'absence de nécessité » et ceci car aucune zone présentant un recouvrement cumulé d'espèces indicatrices supérieur à 5% n'a été détectée ailleurs sur le site.

Les indications issues de la bibliographie ont permis de mettre en évidence une très faible probabilité de présence de zones humides sur la ZIP, ce qui a orienté les investigations pédologiques sur les zones présentant le plus de probabilité d'être en zone humide.

Peu de sondages ont été réalisés car la faible profondeur de sol sur la butte cristalline rend cette technique peu informative (refus à faible profondeur au contact du substratum sub-affleurant) et que la végétation peu contrainte par des perturbations anthropiques sur ces terrains (déprise agricole sur la majeure partie du site) lui confère une bonne aptitude à renseigner sur le niveau d'engorgement des sols. Des sondages ont été réalisés là où la végétation était la plus perturbée : cultures au SE et au NO, layon sous la ligne électrique. L'analyse bibliographique, couplée aux résultats des sondages pédologiques permet de mettre en évidence que la densification des sondages n'apparaît pas nécessaire.

Ainsi, la délimitation des zones humides fournie dans le VNEI est justifiée. La seule zone humide identifiée au droit de la ZIP se trouve au nord-est du site d'étude. Cette zone étant complètement évitée par le projet aucun impact de ce dernier n'est à prévoir sur les zones humides, que ce soit en phase chantier ou exploitation.

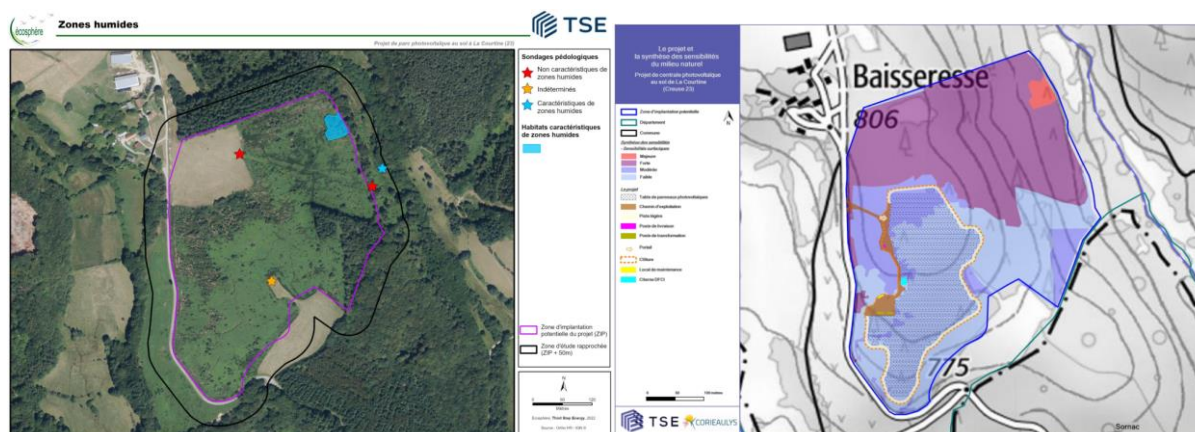


Figure 7 : Cartographie de localisation du projet par rapport aux zones humides

Incidences sur les sites Natura 2000

Les incidences du projet sur les sites NATURA 2000 sont détaillé dans le chapitre 11 en page 148 du VNEI et repris en le chapitre IV.3.9 en page 190 de l'étude d'impact. Les zonages pris en compte dans le cadre de cette analyse sont les suivants :

- ZPS FR7412003 Plateau de Millevaches à 8,4 km du projet
- ZSC FR7401128 Vallée de la Gioune à 9,4 km du projet.

Les conclusions de l'analyse sont les suivantes : Le projet de parc photovoltaïque de la Courtine, en phases travaux et exploitation, n'est pas susceptible de remettre en cause, sur le court, le moyen et le long termes, l'état de conservation des habitats et des populations d'espèces ayant justifié la désignation des sites Natura 2000, « Vallée de la Gioune » et « Plateau de Millevaches », ni les objectifs de conservation mis en exergue dans les Documents d'Objectifs.

Compte tenu de la nature des habitats en présence (majoritairement des landes, des friches et des zones de recrus forestiers), le projet n'a aucun lien particulier avec les habitats et espèces de associés liés à cette ZSC. Le site d'étude possède un faible lien fonctionnel avec la ZPS du Plateau de Millevaches et les espèces d'oiseaux ayant justifiées sa désignation. C'est le cas notamment pour les quelques rapaces à large rayon d'action (Circaète Jean-le-Blanc, Busards cendré et Saint Martin, Milan royal...) qui pourraient survoler le site, voire y puiser occasionnellement une partie de leurs ressources alimentaires.

Selon ces conclusions, l'évaluation des incidences du projet sur l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire ayant justifiés la désignation de ce site s'arrête au stade de l'évaluation préliminaire.

Incidence des liées au risque incendie et OLD

Comme expliqué dans notre réponse à la recommandation n°1 de l'Ae, aucune incidence n'est à prévoir en ce qui concerne les OLD puisque la centrale se trouve sur une zone non soumise à OLD. De plus, aucun déboisement ne sera à prévoir dans la mesure où les habitats présent sur site ne sont que des habitats ouverts ou semi-ouvert arbustif.

Mesures de suivi

Un dispositif de suivi et d'évaluation des mesures de préservation des espèces est prévu dans l'étude d'impact du projet afin d'assurer leur bonne mise en œuvre des mesures et garantir la réussite des actions prévues :

- MA1 et MS1 - Suivi en phase chantier : mise en place d'un suivi de chantier par un écologue, dès la phase de visite préalable avec les entreprises, pour la mise en défens et pour s'assurer de la réalisation effective des mesures préconisées ;
- MS2 - Suivis en phase exploitation : des suivis écologiques sont prévus durant les 5 premières années, puis n+10, n+15, n+20, n+25, n+30 et n+40. Il s'agira de suivis de la végétation, de l'entomofaune et de l'avifaune au sein même du parc photovoltaïque ;
- MS3 - Suivi spécifique en phase exploitation : Suivi des populations de Vipère péliade par un écologue tous les 3 ans les 10 premières années puis tous les 10 ans. Les résultats de ce suivi permettront d'adapter la gestion de la mesure « MA3 : Gestion favorable des milieux accueillant la Vipère pléiade ».
- Mesure en phase démantèlement : Préalablement aux travaux de démantèlement, un audit écologique du site devra être réalisé afin d'identifier et localiser les éventuels habitats et espèces d'intérêt. Des précautions particulières devront alors être prises afin d'éviter les impacts sur les populations

concernées. De manière générale, les travaux devront être réalisés en dehors des périodes de sensibilité de la faune et concentrés sur la période allant d'octobre à février inclus (5 mois).

Modalités de démantèlement

Les modalités de démantèlement sont abordées dans le chapitre II.3.5 en page 63 de l'étude d'impact.

La durée de vie du parc solaire est de 40 ans minimum. Un projet solaire de cette nature est une installation qui se veut totalement réversible afin d'être cohérente avec la notion d'énergie propre et renouvelable, et de ne laisser aucune trace à l'issue de son démantèlement. La centrale est construite de manière que la remise en état initial du site soit parfaitement possible. L'ensemble des installations est démontable (panneaux et structures métalliques) et les fondations peu profondes seront facilement déterrées. Les locaux techniques (pour la conversion de l'énergie) et la clôture seront également retirés du site.

- Vocation ultérieure du site : le site appartient à un propriétaire privé. Une fois que l'exploitation de la centrale finie et que la remise en état du site aura été faite, le propriétaire pourra entreprendre tout usage de son terrain, dans le respect de la réglementation en vigueur.
- Engagement pris pour la remise en état du site : Une fois l'ensemble des équipements retirés du site, TSE s'engage à remettre le terrain en état. Bien que l'exploitation de la centrale n'entraîne pas de modification substantielle des terrains, il persistera des traces de l'opération de démantèlement. Des traces sont visibles aussi sous les voies d'accès ou les locaux techniques, où la végétation n'aura pas pu se développer. Les repousses naturelles de la végétation permettront au fur et à mesure de retrouver un terrain sensiblement identique à celui antérieur à la centrale. Il pourra également être proposé un réensemencement selon l'état des terrains.
- Recyclage des panneaux : Les modules photovoltaïques en fin de vie seront envoyés vers un prestataire agréé en France (type SOREN) pour démontage complet, séparation des éléments et recyclage maximum (verre, silicium). Pour un module PV, le taux de valorisation en fin de vie est de 94,7% ce qui en fait un élément très bien recyclé (pour comparaison le textile est à 91% et l'automobile à 87%). L'aluminium, le verre et les métaux pourront facilement être revalorisés. Seuls les polymères plastiques pourront être envoyés en incinération (et généralement valorisés énergétiquement) s'ils ne sont pas recyclés. Notons que les plaquettes de silicium, elles, pourront être réutilisées à l'intérieur d'un module à l'instar d'une plaquette neuve, même après 20 ou 30 ans, la qualité du silicium reste identique.

RECOMMANDATION N°8 :

La MRAE recommande le cas échéant :

- *Qu'une vérification des niveaux des **champs électriques et électromagnétiques** associés atteints lors de la mise en service du raccordement de l'installation au réseau électrique soit effectuée, en particulier au niveau des habitations situées à proximité des raccordements. Concernant la santé humaine, la position des ouvrages et câbles électriques par rapport aux lieux accessibles aux tiers doit être telle que le champ électrique résultant en ces lieux n'excède pas 5 kV/m et que le champ magnétique associé n'excède pas 100 µT dans les conditions de fonctionnement en régime de service permanent (arrêté du 17 mai 2001) ;*
- *De préciser le **projet paysager** et de produire, dans le cadre de l'analyse paysagère et patrimoniale du projet, des photomontages du projet depuis les secteurs sensibles (éléments patrimoniaux et habitations notamment). La question du risque d'éblouissement depuis les axes routiers doit être étudiée.*

Réponse :

Champs électriques et électromagnétiques :

Le chapitre V.2.5.6 de l'étude d'impact précise que deux mesures d'évitement ont été mises en œuvre afin de limiter les potentiels impacts des émissions électromagnétiques de la centrales sur les populations :

- Mesure E2 : positionnement des postes électriques à plus de 260 m des riverains les plus proches ;
- Mesure E3 : engagement de TSE à respecter l'ensemble des normes en vigueur. La recommandation n°1999/519/CE (reprise au niveau national dans l'arrêté technique du 17/05/2001) demande le respect des seuils d'exposition suivants pour une fréquence de 50 Hz :

Tableau 56 : Recommandation n°199/519/CE

Recommandation n°199/519/CE	Seuils
Champ magnétique	100 μ T
Champ électrique	5 kV/m ²
Densité de courant	2 mA/m ²

La directive n°2004/40/CE donne des seuils d'exposition pour les travailleurs (fréquence de 50 Hz) :

Tableau 57 : Seuils d'exposition fixés par la directive n°2004/40/CE

Directive n°2004/40/CE	Seuils
Champ magnétique	0,5 mT
Champ électrique	10 kV/m ²
Densité de courant	10 mA/m ²

Tout courant électrique génère un champs électrique et un champs magnétique. Les émetteurs potentiels de champs électromagnétiques sont les modules photovoltaïques, les lignes de connexion, les onduleurs (protégés par des armoires métalliques) et les transformateurs (identiques aux transformateurs présents dans les zones d'habitation).

Les études menées en Allemagne montrent que les puissances de champs maximales pour ces derniers sont inférieures aux valeurs limites réglementaires et qu'à une dizaine de mètres de ces derniers, les valeurs des champs sont en-deçà de nombreux appareils électroménagers (le champs électrique mesuré à proximité d'un transformateur électrique est d'environ 10V/m contre 40 V/m pour un grille-pain ou 60 V/m pour un téléviseur). Etant donné que les panneaux solaires photovoltaïques produisent de l'électricité en courants continus, seuls des champs électriques et magnétiques statiques sont générés. Le transit de l'énergie se fait dans des câbles isolés, blindés, à champ radial (norme C33-226), enterrés, et leur champ électrique est nul en régime équilibré.

A quelques centimètres de distance des panneaux et des câbles, les champs sont plus faibles que les champs naturels et notamment le champ magnétique terrestre. Les champs électromagnétiques produits par un onduleur sont des champs extrêmement basses fréquences ($f < 300$ Hz). Ils se trouvent par ailleurs dans des caissons métalliques possédant des propriétés de blindage qui offrent une protection supplémentaire. Un transformateur est par ailleurs conçu de façon à concentrer le champ magnétique en son centre. Celui-ci est donc très faible aux alentours du transformateur (en moyenne de 20 à 30 μ T). Le champ électrique mesuré est très faible, de l'ordre de quelques dizaines de V/m. (Source : Fiche INRS – Les lignes à haute tension et les transformateurs, ED 4210).

Enfin, nos constructions respectent les bonnes pratiques et normes en vigueur notamment au sujet de la pose et du choix des câbles, et nos équipements électriques tels que les onduleurs respectent toutes les normes constructives en vigueur en Europe.

Ainsi, un parc photovoltaïque n'émet pas davantage de rayonnements électromagnétiques que d'autres équipements déjà présents au sein même des habitations ou bâtiments d'activités. Ces rayonnements sont bien en deçà des recommandations à respecter pour éviter tout impact sur la santé.

Projet paysager :

La composition d'ensemble du projet est équilibrée grâce à une implantation de panneaux régulièrement répartis sur l'arrondi de la colline, formant une surface régulière en vue lointaine. Cette dernière s'intègre facilement aux aplats forestiers du paysage.

La conception du projet tient compte des composantes végétales du paysage, à savoir le **maintien d'une épaisseur de fourrés avec un important retrait du bord de la route** menant au hameau de Baisseresse (minimum 12m). Ce recul végétalisé assure **un écrin vert autour de la centrale**, permettant de limiter le contraste pour les usagers de la route locale qui longe le projet. Côté Baisseresse, **le cordon de fourré d'environ 5 m d'épaisseur** est conservé au nord, contre la parcelle agricole évitée.

L'évitement de la parcelle en prairie au nord (et la petite au sud-est pour des raisons agricoles) de la ZIP assure un recul au hameau de Baisseresse, évitant ainsi la forte prégnance dans les perceptions riveraines et donc la mise en œuvre d'une haie qui aurait été nécessaire dans le cas contraire.

L'évitement du versant à l'est de la ZIP assure une certaine discrétion depuis les routes départementales initialement exposées.

Le choix des teintes pour les locaux techniques s'accorde aux teintes présentes dans l'environnement paysager, forestier. Les postes de livraison, de transformation, le local de maintenance et la clôture, emploieront une teinte soit vert-olive (RAL 6003), soit vert-mousse (RAL 6005). La citerne souple privilégiera également des teintes vertes ou sombre afin de s'adapter aux coloris du paysage.

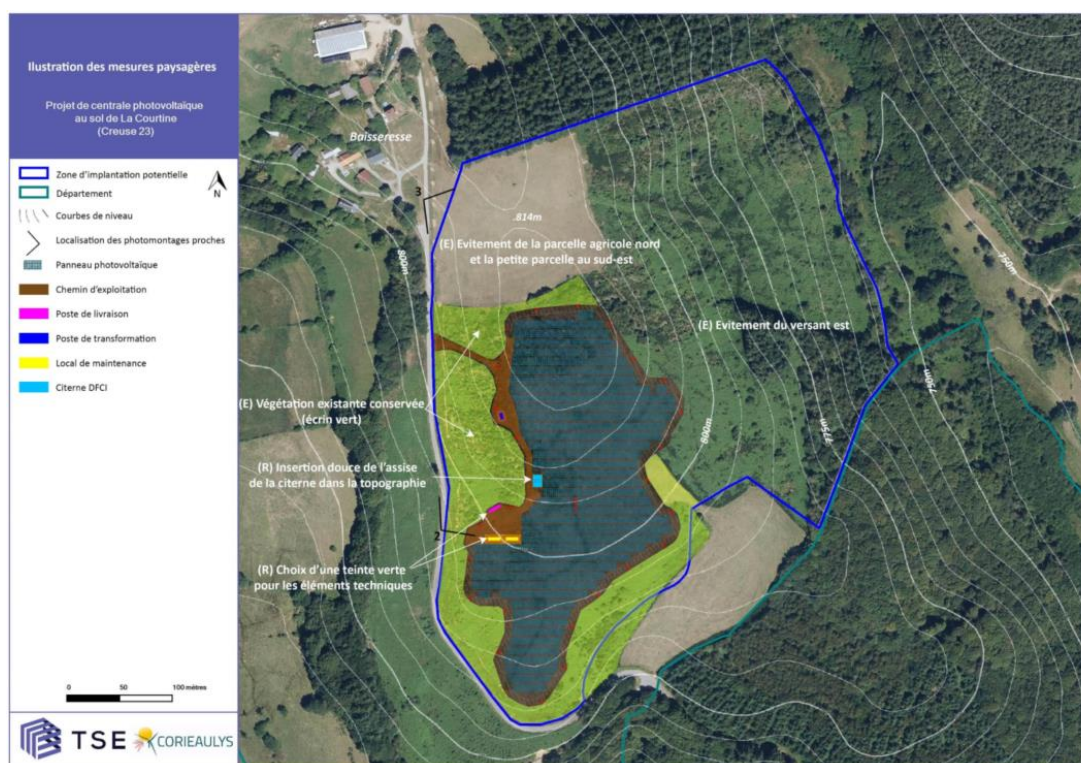
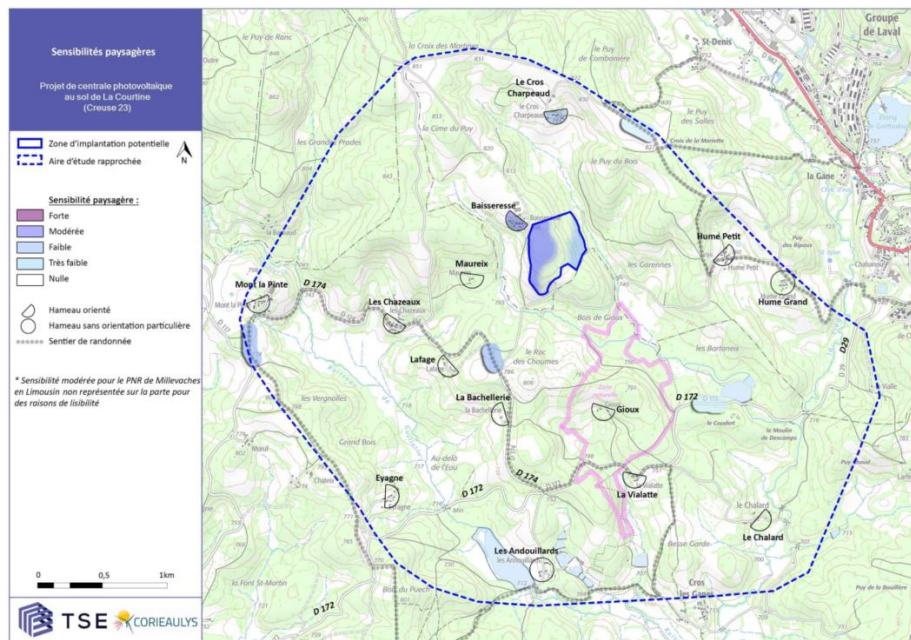


Figure 8 : Illustration des mesures paysagères

Mémoire en réponse à l'avis de la MRAE

Le projet ne présente aucune covisibilité avec ou depuis un élément du patrimoine protégé et se trouve à l'écart des lieux touristiques du territoire. L'analyse des sensibilités du site a montré que les secteurs qui seraient les plus exposés au projet sont la partie ouest de la ZIP, le hameau de Baisseresse ainsi que les vues depuis une portion de la route D 174 (exposition faible à modérée).



Le choix des points de vue s'est donc basé sur les sensibilités mises en évidence à l'état initial. Il n'existait que peu de choix de point de vue éloigné en raison du cadre forestier couvrant, faisant fréquemment obstacle.

La carte suivante présente les points de vue retenus en lien avec la carte de sensibilités.

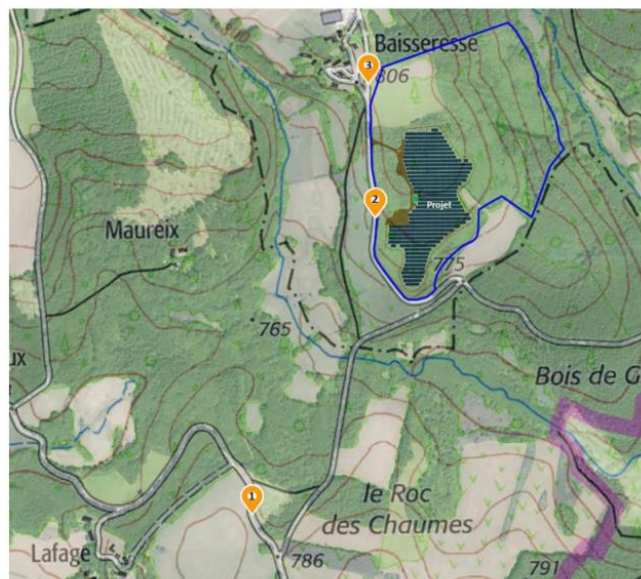


Figure 159 - Localisation des points de vue des photomontages

- 1- Vue depuis la D 174, sentier de petite randonnée (vue lointaine)
- 2- Route menant à Baisseresse (vue proche)
- 3- Aux abords de Baisseresse (Vue proche)

Figure 9: Localisation des points de vue pour les photomontages

Les photomontages correspondants sont présentés en pages 306, 307 et 308 de l'étude d'impact. Ces derniers permettent de se rendre compte que le projet s'insère avec discrétion dans son environnement. Les mesures paysagères de retrait par rapport à la route et de maintien de bande végétale vont avec le temps renforcer le masquage du projet. De plus, l'impact résiduel du projet sur les quelques axes routiers depuis lesquels il est visible est très faible à nul, en raison de l'étroitesse des fenêtres de visibilité et de la vue limitée par les vitesses de déplacement des automobilistes.

D'autre part, l'exposition des populations aux effets d'optiques tels que l'éblouissement ou la réverbération des panneaux a bien été étudié dans le chapitre V.2.5.7 en page 255 et 256 de l'étude d'impact.

Il y est notamment mentionné que le projet n'aura aucun impact en matière d'éblouissement et de réverbération des panneaux en raison :

- Du masque végétal autour du projet : le projet se trouve en dent creuse au milieu de la végétation arbustive et boisée ;
- La position en surplomb de la centrale : les axes routiers proches se trouvent en contrebas de la zone du projet ;
- L'orientation des modules : l'inclinaison des modules fait que la lumière éventuellement reflétée se dirige plus ou moins haut dans le ciel suivant l'heure de la journée et ne peut donc être perçue que par un observateur situé en un point dominant la centrale. De plus, une grande partie des rayons du soleil est piégée à l'intérieur du capteur solaire, avec un haut coefficient d'absorption, qui vient s'ajouter à l'existence du film antireflet sur la surface des modules. La coordination des deux applications permet conjointement de diminuer le renvoi de rayons lumineux.

RECOMMANDATION N°9 :

La MRAE recommande au porteur de projet

- de justifier le **choix d'implantation** du projet au regard des enjeux du site. Les solutions alternatives pour réaliser le projet et leurs enjeux et incidences sur l'environnement doivent être présentées ;
- d'intégrer dans l'étude d'impact l'analyse des **incidences du raccordement électrique**. A défaut, l'analyse des incidences liées aux opérations de raccordement devra être intégrée dans l'étude d'impact via une actualisation lors d'autorisations ultérieures ;
- de situer le projet dans le cadre d'une présentation de la **stratégie locale de développement des énergies renouvelables** au sein du territoire, et des projets en cours de développement planifiés par la collectivité en charge de la planification de l'urbanisme ;
- de préciser si le territoire présente la **capacité d'accueil** suffisante pour ce projet à court ou moyen terme dans le cadre du schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR), et de l'état connu des projets à raccorder.

Réponse :

Choix d'implantation :

Le chapitre II.3.3 présente l'analyse des variantes du projet ainsi que sa justification environnementale. Le projet a en effet considérablement évolué afin de prendre en compte les divers enjeux mis en évidence. Ces évolutions sont détaillées dans le tableau d'analyse multicritères des variantes, présenté en page 50 de l'étude d'impact, et repris ci-après :

Mémoire en réponse à l'avis de la MRAE

Tableau 14 : Analyse multicritères des variantes

Données techniques		Implantation théorique de base (V0)	Implantation intermédiaire (V1)	Implantation finale (V2)
Puissance (MwC)	/	-	6,5	6,3
Surface clôturée (ha)	/	18	5,2	4,5
Surface projetée au sol des panneaux (ha)	/	-	2,9	2,6
Nombre de modules	/	-	10 000	9 200
Equivalent consommation électrique annuelle (nombre de foyer ¹⁸)	/	-	1590	1540
Critères technico-économiques	/	Scénario optimisant la production avant prise en compte des diverses contraintes techniques et sensibilités environnementales	Réduction de la puissance installée	Réduction de la puissance installée
Sensibilités environnementales et respect des principales préconisations : ✔ Préconisation respectée / ⚠ Préconisation non respectée en totalité / ✘ Préconisation non respectée				
Milieu humain et agricole	✔ Eviter les abords de la ligne HTA (zone tampon de 3 m)	Scénario présentant la plus grande production d'ENR Meilleures retombées économiques pour les collectivités Implantation sur les parcelles déclarées à la PAC ✘	Réduction de la production d'ENR Réduction des retombées économiques pour les collectivités Evitement d'une partie des parcelles déclarées à la PAC ✔	Réduction de la production d'ENR Réduction des retombées économiques pour les collectivités Evitement de l'ensemble des parcelles déclarées à la PAC ✔
Milieu physique	✔ Eviter la prairie hygrophile (zone humide) ✔ Eviter les zones de pentes supérieures à 15% ✔ Répartir les panneaux en maintenant si possible des interrangées supérieures à 3 m et un espacement entre les panneaux permettant une répartition de l'écoulement des eaux à l'échelle de la ZIP	Pas de prise en compte de la topographie Impact sur les zones humides ✘	Emissions CO ₂ évitées FR ¹⁸ = 6 033 t CO ₂ Emissions CO ₂ évitées EUR ¹⁹ = 118 376 t eq CO ₂ Evitement de zones à topographie complexe (retrait de panneaux) Evitement total des zones humides ⚠	Emissions CO ₂ évitées FR = 5 848 t eq CO ₂ Emissions CO ₂ évitées EUR = 114 734 t eq CO ₂ Evitement supplémentaire de zones à topographie complexe (retrait de panneaux et changement de localisation de l'accès au site) ⚠
Milieu naturel	✔ Eviter la prairie hygrophile (zone humide), les milieux boisés et la prairie de fauche au nord ✔ Eviter les secteurs abritant la Vipère péliade ✔ Maintenir des surfaces d'habitats arbustifs suffisants d'un seul tenant pour assurer la pérennité de la reproduction des oiseaux nicheurs.	Pas de prise en compte des enjeux biodiversité ✘	Evitement total de l'habitat de la Vipère péliade et des zones boisées Evitement partiel des habitats d'avifaune à enjeu ⚠	Réduction de l'impact sur les habitats d'avifaune à enjeu ✔ Diminution de la surface de piste légère ✔
Paysage et patrimoine	✔ Composer un projet en continuité avec les composantes végétales identitaires du paysage. ✔ Prévoir des retraits végétalisés à la route menant à Baisseresse.	Visibilité directe depuis le hameau de la Baisseresse ✘	Conservation d'une haie sur une portion de la bordure est du site au niveau des habitations ⚠	Conservation de la végétation arborée afin de créer un masque visuel Réduction conséquente de la visibilité du site depuis le hameau de Baisseresse ✔

18 Par rapport au mix électrique français et sur la base de la consommation annuelle au 31/12/2021 (Observatoire des marchés de détail du 4e trimestre 2021 – CRE)
19 FR : Bilan des émissions CO₂ évitées par le projet PV par rapport aux émissions de CO₂ du mix électrique français
20 EUR : Bilan des émissions CO₂ évitées par le projet PV par rapport aux émissions de CO₂ du mix électrique européen

La démarche itérative menée sur le projet de la Courtine a permis d'aboutir au meilleur compromis entre la préservation des enjeux environnementaux et paysagers du site d'étude, et les contraintes inhérente au développement d'un projet photovoltaïque.

Incidences du raccordement :

Comme expliqué dans notre réponse à la recommandation n°1 de l'Ae, l'impact du raccordement électrique de la centrale sur l'environnement sera très limité. Cette analyse des incidences du raccordement figure déjà en page 121 et 122 de l'étude d'impact. Les mesures de réduction technique possibles lors des travaux de raccordement sont notamment listées, et prévoient la mise en œuvre de dispositions spécifiques :

Afin de limiter tout risque d'impact temporaire sur les milieux traversés lors de la phase chantier, s'il y avait lors de l'analyse des tracés proposés une présomption de zone humide, les dispositions suivantes devront systématiquement être mises en œuvre :

- ① Inventaires préalables pour identifier les séquences concernées,
- ② Intervention pendant les périodes favorables (sèches),
- ③ Déplacement des engins uniquement sur des plaques de répartition de charge (pas de pistes avec apport de matériaux),
- ④ Décapage de la terre végétale limité uniquement à la largeur de la tranchée, et dépôts des horizons profonds dans un cordon séparé de celui de la terre végétale lors de l'ouverture de la tranchée,
- ⑤ Mise en place de bouchons d'argiles réguliers si nécessaires pour éviter le drainage latéral, et recompactage des terres extraites pour reconstitution la structure originelle des sols.
- ⑥ Par ailleurs, si le tracé intercepte un ou des ours d'eau, des solutions techniques existent également pour toute traversée de rivière, cours d'eau, ... : encorbellement sur les ponts existants, fonçage dirigé, fonçage. Ce sont des techniques largement maîtrisées par ENEDIS qui devra alors mettre en œuvre la (les) solution(s) adaptée(s) à chaque situation avec l'objectif de moindre impact systématique.

Ainsi, au vu de ces éléments, la cotation de l'effet du raccordement du projet est considérée comme négligeable à nulle.

Stratégie locale de développement des énergies renouvelables

Ce projet s'inscrit dans une stratégie large de développement des énergies renouvelables à l'échelle locale et régionale. En effet, sur ce dernier point, la région Nouvelle Aquitaine intègre dans ces objectifs stratégiques majeurs l'accélération de « *la transition énergétique et écologique pour un environnement sain* » tout en voulant « *Valoriser toutes les ressources locales pour multiplier et diversifier les unités de production d'énergie renouvelable* » dans son objectif 51.

Sur le plan local, la communauté de communes Haute Corrèze est un territoire porteur et volontariste sur le développement des énergies renouvelables. En inscrivant dans son Projet d'Aménagement et de Développement Durable de son PLUi approuvé le 8 décembre 2022, la collectivité souhaite, au travers de sa fiche action 8, « *Assurer la compétitivité du secteur secondaire* » en favorisant notamment « *le développement des énergies renouvelables* ».

Effectivement, même si le territoire intercommunal est déjà doté d'infrastructures hydroélectriques d'importance, la volonté de la collectivité est de diversifier la production et d'aller vers un mix énergétique. Pour ce faire, le territoire porte une stratégie d'accompagnement au développement de plusieurs projets de centrales photovoltaïques au sol sur un choix réfléchi des sites sélectionnés. L'aboutissement local de cette stratégie s'est concrétisé par une délibération communale approuvant le projet le 8 juillet 2021.

Capacité d'accueil du projet

A ce jour le poste source de ST SETIERS ne dispose pas de capacité de transformation HTA/HTB suffisante pour l'injection de la production sur le réseau. Néanmoins le poste source n'étant équipé que d'un seul transformateur de 20MVA, des travaux d'ajout d'un second transformateur et/ou la mutation du transformateur de 20MVA en 36MVA serait envisageable. Cette solution sera confirmée par le gestionnaire de réseau lors de l'élaboration de la convention de raccordement.

RECOMMANDATION N°10 :

La MRAe recommande en particulier :

- de poursuivre la **démarche d'évitement et de réduction** des impacts en proposant une autre implantation du chemin d'accès,
- de compléter l'**analyse des zones humides et gestion de l'eau** avec la réalisation d'une étude géotechnique et de nouveaux sondages afin de caractériser de manière plus fine la nature des sols et la qualité d'infiltration,
- de s'assurer du strict **respect du calendrier des travaux** afin de limiter la gêne, notamment pour les espèces protégées nicheuses.

Réponse :

Démarche d'évitement et de réduction en lien avec l'implantation du chemin d'accès : La réponse à cette recommandation figure dans notre réponse à la recommandation n°2 du présent mémoire réponse.

Analyse des zones humides et gestion de l'eau : La réponse à cette recommandation figure dans nos réponses aux recommandations n°5 et n°7 du présent mémoire réponse.

Respect du calendrier de travaux : Comme indiqué dans notre réponse à la recommandation n°2 de l'Ae, le respect d'un calendrier de travaux spécifique est prévu afin réduire au maximum le risque de destruction accidentelle et de dérangement de la faune.

A photograph of a solar farm with rows of photovoltaic panels in a field. The panels are tilted and extend into the distance. In the background, there are green trees under a clear blue sky. The foreground shows tall, dry grass and some green plants.

Bilan des émissions carbone d'une centrale photovoltaïque

Projet photovoltaïque de la Courtine

Sommaire :

- I. Contexte général des énergies renouvelables
- II. Calcul de l'empreinte carbone du projet de la Courtine

Dans son sixième rapport d'évaluation, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) fait état d'une hausse de la température moyenne à la surface du globe de +1.1°C par rapport à l'ère préindustrielle (1850-1900), en raison des émissions de gaz à effet de serre (GES) dues aux activités humaines. Le GIEC estime que nous ne sommes pas sur la bonne voie pour limiter le réchauffement à 1,5°C, seuil au-delà duquel il existe un risque important de franchir un point de bascule climatique. Nos sociétés seraient alors durement impactées par le réchauffement planétaire (élévation du niveau des mers, températures extrêmes, multiplication des phénomènes météorologiques intenses, disparition et migration des espèces animales ou végétales, migrations humaines...). En dépit de la montée en puissance de l'action pour le climat et du ralentissement du rythme moyen de hausse des émissions mondiales au cours de la dernière décennie (+1.3% par an entre 2010 et 2019, contre +2.1% par an entre 2000 et 2009), le GIEC considère que limiter le réchauffement à 1,5°C est hors de portée à moins de réductions immédiates et massives des émissions de GES. Cela suppose des changements rapides, profonds et sans précédent dans tous les aspects de l'organisation de nos sociétés, dont la production d'énergie afin de se substituer aux énergies fossiles, dont la combustion est la principale source d'émission de GES.¹

I. Contexte général des énergies renouvelables

1. Prise en compte du changement climatique dans les documents cadres internationaux

Trois documents cadres ont permis la promotion des énergies renouvelables et ont ensuite été déclinés à l'échelle européenne et française :

- La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques de 1992 qui met en place un cadre global de l'effort intergouvernemental pour faire face au défi posé par les changements climatiques. Elle reconnaît que le système climatique est une ressource partagée dont la stabilité peut être affectée par les émissions industrielles de CO₂ ainsi que les autres gaz à effet de serre ;
- Le protocole de Kyoto élaboré en 1997 et qui est entré en vigueur en 2005, qui impose des cibles contraignantes de réduction des émissions de GES aux pays l'ayant ratifié (hors pays en développement) sur deux périodes d'engagement, 2005-2012 et 2013-2020 conformément à l'amendement de Doha adopté en 2012 ;
- L'accord de Paris en 2015 (COP 21) qui a été adopté par 195 pays et est entré en vigueur en novembre 2016. Cet accord engage l'ensemble des parties, pays dits développés et en développement, à :
 - Œuvrer collectivement au respect d'un objectif de deux objectifs :
 - La limitation du réchauffement de la température planétaire en-deçà de 2°C, avec une ambition de la limiter à 1,5°C ;
 - L'atteinte de la neutralité carbone (équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre) au cours de la deuxième moitié du siècle ;
 - Remettre tous les cinq ans une Contribution Déterminée au niveau National (CDN) détaillant les objectifs de réduction des émissions visés par chaque pays et le plan d'action associé ;
 - Mobiliser au moins 100 milliards de dollars par an de financements climat à destination des pays en développement pour accompagner les stratégies d'atténuation et d'adaptation.

L'accord de Paris sur le climat est un cadre d'action dynamique reposant sur des cycles d'ambition quinquennaux. Lors de la COP 26 de 2021, 165 pays ont soumis des versions actualisées de leur CDN, conduisant à baisser de 9% des niveaux d'émissions prévus pour 2030 par rapport aux précédentes versions des CDN². La COP27, qui s'est tenue en novembre 2022 en Egypte, a été l'occasion de rappeler

¹ Source : Volets 1, 2 et 3 du sixième Rapport d'évaluation du GIEC, 2021-2022

² Source : rapport de synthèse sur les CDN, CNUCC, 2021

les Etats à leur engagement d'accroître progressivement leur niveau d'ambition climatique, en vue du premier bilan mondial prévu pour 2023.

2. Contexte français

Conformément à l'accord de Paris sur le climat, l'Union européenne (UE) s'est engagée à atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 au travers de la « loi climat » adoptée en 2021 dans le prolongement du Pacte vert européen lancé en 2019. Pour atteindre cette cible de long-terme, la loi climat révisé à la hausse l'objectif européen de réduction des émissions de GES pour 2030, qui est désormais de -55% par rapport à 1990. En conséquence, la Commission européenne a présenté un nouveau Paquet législatif dit « Ajustement à l'objectif 55 » visant à modifier les paramètres de l'ensemble des outils de la politique climatique européenne. Dans ce contexte, une révision de la Directive sur les énergies renouvelables (RED II) est en cours et prévoit une couverture de 45% de la consommation d'énergie finale de l'UE par les énergies renouvelables à horizon 2030, contre 32% tel que prévu dans la précédente version de la Directive adoptée en 2018. L'adoption définitive de la Directive révisée est prévue pour fin 2022.

Pour répondre aux objectifs internationaux et européens, la France a mis en place différents leviers en faveur du développement des énergies renouvelables à l'échelle nationale :

- Les lois Grenelle 1 et 2 avaient pour objectif en 2020 d'atteindre 23% d'énergie renouvelable dans le mix énergétique français, en cohérence avec les objectifs européens pour la même année. Les lois Grenelle ont également mis en place des documents stratégiques tels que les Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE), les Plans Climat Energie Territorial (PCET) et les Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau d'Energies Renouvelables (S3REnR) ;
- La loi de transition énergétique pour la croissance verte qui, en 2015, fixe des objectifs à l'horizon 2030, et notamment l'atteinte de 40 % d'énergies renouvelables dans la production d'électricité.
- La loi climat-énergie de 2019 et la loi Climat et Résilience de 2021 qui réorientent les objectifs énergétiques pour atteindre une neutralité carbone d'ici 2050, et créent de nouveaux outils de pilotage de la politique climatique et énergétique de la France.
- La Stratégie nationale bas-carbone est l'outil principal de pilotage de l'action française. Elle est complétée par la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) qui décline, par filières, les objectifs de la loi de transition énergétique, à l'horizon 2028. Pour le solaire (panneaux au sol et sur toiture), l'objectif est de 20,1 GW en 2023 et 35,1 à 44,0 GW en 2028.
- Un projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables a été validée à l'Assemblée nationale et au Sénat. Ce texte vise notamment à accélérer les procédures, libérer le foncier nécessaire et améliorer le financement et l'attractivité des projets d'énergies renouvelables.

Le rapport « Futurs énergétiques » publié en octobre 2021 confirme qu'il est impossible d'atteindre la neutralité carbone en 2050 sans un développement significatif des énergies renouvelables dans la mesure où le système électrique français doit faire face au double défi du vieillissement du parc nucléaire existant et de l'augmentation de la part de l'électricité dans la consommation d'énergie ³

Le développement de l'électricité solaire photovoltaïque en France permet de contribuer à l'indépendance énergétique du territoire et de concourir aux objectifs fixés par le Gouvernement pour la transition énergétique et le respect de la politique environnementale européenne. D'après les données et études statistiques réalisées par le ministère de la transition écologique et solidaire, le parc photovoltaïque de France s'élève à 14 562 MW, pour 587 559 installations photovoltaïques, fin mars 2022.

³ Source : rapport « Futurs énergétiques », RTE, 2021

La France est donc très loin de l'objectif de 2023 de la PPE. Elle doit accélérer la mise en œuvre de sa politique de développement des ENR pour rattraper son retard vis-à-vis de ses engagements nationaux et internationaux, et rendre possible l'atteinte de la neutralité carbone en 2050. La construction d'une centrale solaire au sol, permettant la production d'énergie verte et décarbonée, contribue donc pleinement à cette urgence.

3. Emission carbone des différentes sources d'énergie

Les sources d'énergie d'origine renouvelable sont considérées « décarbonées » par rapport aux énergies fossiles : l'énergie solaire, éolienne, géothermique et hydraulique sont les moyens de production électriques les moins polluants.

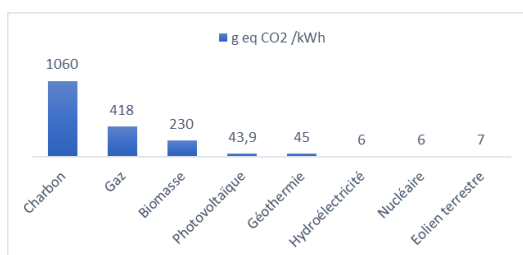
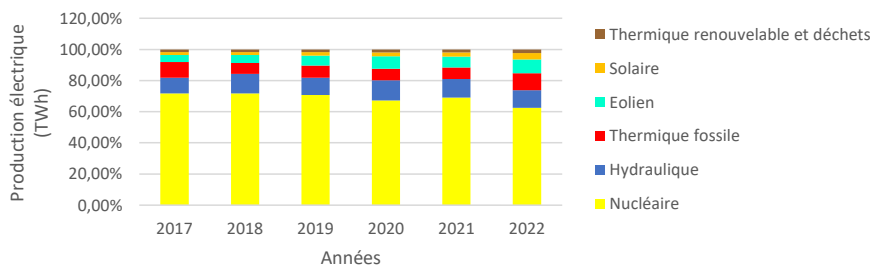


Figure 1 : Emissions carbone moyennes par technologies (source : Base Carbone Ademe V22)

Selon RTE, le mix électrique actuel Français est basé à 67% sur l'énergie nucléaire tandis que le solaire photovoltaïque représente 3% de la production électrique en 2021. En 2021 la production d'énergie solaire a augmenté de 12.6% par rapport à 2020 soit 14.3 TWh produit sur l'année.



Dans son règlement « Taxonomie » entrée en vigueur le 12 juillet 2020, l'Union Européenne a déterminé les activités qui participent à la lutte contre le changement climatique. Le critère de base reste le seuil d'émission calculé sur le cycle de vie de 100 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure (g CO₂ eq/kWh). En-dessous de ce seuil, le secteur est considéré comme « vert », ce qui inclut toutes les énergies renouvelables, dont le photovoltaïque au sol et l'hydrogène.

Commenté [SG1]: A priori c'est à actualiser

II. Calcul de l'empreinte carbone du projet photovoltaïque de la Courtine

1. Méthodologie

L'électricité générée par la centrale photovoltaïque va se substituer à celle issue du mix électrique Français et Européen. Il est ainsi possible de déterminer les émissions évitées grâce à la production électrique du parc photovoltaïque :

$$Emissions\ évitées\ du\ mix\ électrique = Emissions_{mix} - Emissions_{centrale\ PV}$$

Avec :

$$Emissions = FE \times Production\ électrique\ de\ la\ centrale\ PV$$

Les facteurs d'émissions (FE) des mix électriques

Les facteurs d'émissions des mix électriques sont issus de la Base carbone V22 de l'ADEME publiée en 2022.

- FE mix électrique français : 56,9 g eq CO₂/kWh
- FE mix électrique Européen : 420 g eq CO₂/kWh

Le mix électrique français est moins carboné que le mix électrique européen car l'électricité française provient à 67% du nucléaire (peu émetteur de carbone).

Les facteurs d'émissions (FE) d'une centrale PV

Le facteur d'émissions d'une centrale PV est calculé par la méthode Analyse de Cycle de Vie qui prend en compte :

- L'extraction des matières premières ;
- La fabrication des modules et autres composants et leur transport ;
- Le chantier de construction ;
- L'entretien et la maintenance durant la phase d'exploitation (pendant la phase d'utilisation des panneaux solaires, il n'y a aucun rejet de CO₂ lors de la production de l'électricité) ;
- Le démantèlement et le recyclage des matériaux.

Le FE centrale PV proposé par l'ADEME (base de données V22) diffère selon le lieu de production des panneaux (Chine : 43,9 g eq CO₂/kWh, Europe : 32,3 g eq CO₂/kWh, France : 25,2 g eq CO₂/kWh). Ces FE proposés par l'ADEME sont surestimés : basés sur des données de 2005 de nombreuses évolutions technologiques n'ont pas été intégrées dans les modèles de calculs :

- La puissance, le rendement, la durée de vie et le poids des panneaux et des onduleurs ;
- Le type, le poids et le matériau des fixations des panneaux ;
- L'optimisation des procédés de confection (amélioration de la découpe engendrant moins de perte de matière, diminution de la consommation d'électricité).

Nous proposons d'utiliser le FE centrale PV issu du Projet INCER ACV⁴ et de sa plateforme web ouverte⁵. Cette étude, financée avec l'aide de l'ADEME, a permis de générer des modèles mathématiques simplifiés pour l'estimation des impacts environnementaux (dont les facteurs d'émission). Avec l'hypothèse majorante d'un lieu de fabrication des panneaux en Chine, le FE centrale PV est : 37.4 g eq CO₂/kWh.

Importance de certains paramètres sur les impacts :

D'après le Projet INCER-ACV, les paramètres ayant le plus d'impacts sur l'ACV correspondent à l'étape de production des panneaux, notamment la quantité d'électricité nécessaire à la production de lingots de silicium et le mix électrique utilisé.

En revanche, le transport a relativement peu d'impact. S'il reste bénéfique de limiter les impacts provenant du transport de modules PV, cet impact reste négligeable devant l'influence du mix électrique. Ainsi, un

⁴ [incer-acv-2021-rapport.pdf \(ademe.fr\)](#)

⁵ [INCER ACV - Impacts environnementaux de la filière photovoltaïque & évaluation des incertitudes \(webservice-energy.org\)](#)

panneau importé de Chine aura des impacts environnementaux supérieurs à un panneau produit en Europe bien plus du fait de l'utilisation d'un mix électrique plus carboné que du fait du transport.

En ce qui concerne le recyclage, son influence est faible puisque les impacts proviennent très majoritairement de la production des modules plutôt que de leur recyclage. Même si les métaux sont intégralement recyclés, ils restent extraits de l'environnement et comptabilisés comme tel par l'indicateur. En revanche, leur recyclage permettra d'éviter à un autre consommateur d'extraire des métaux puisque ceux-ci pourront provenir du recyclage.

2. Résultats du bilan carbone pour le projet de La Courtine

Le projet PV de La Courtine d'une puissance de 6,3 MWc est développé en Creuse sur un terrain de 4,53 ha clôturés.

Tableau 1 : Résultats des calculs de l'empreinte carbone du projet à l'échelle du mix énergétique français puis européen (source : TSE 2021)

Mix électrique français	Par an (t eq CO ₂)	Pour 25 ans (t eq CO ₂)	Pour 40 ans (t eq CO ₂)
Emissions CO ₂ de la centrale PV	289	7 232	11 572
Emissions CO ₂ du mix électrique français	440	11 003	17 605
Bilan des émissions CO₂ évitées par le projet PV	151	3 771	6 033

Mix électrique européen	Par an (t eq CO ₂)	Pour 25 ans (t eq CO ₂)	Pour 40 ans (t eq CO ₂)
Emissions CO ₂ de la centrale PV	289	7 232	11 572
Emissions CO ₂ du mix électrique européen	3 249	81 218	129 948
Bilan des émissions CO₂ évitées par le projet PV	2 959	73 985	118 376

Sur 40 ans, la substitution de l'électricité produite par la centrale solaire de La Courtine permet d'économiser 6 033 t eq CO₂ par rapport au mix électrique français actuel et 118 376 t eq CO₂ par rapport au mix électrique européen. Cette différence s'explique par la part prédominante du nucléaire (peu émetteur de carbone) dans le mix électrique français.

Un projet photovoltaïque participe à la réduction de la dépendance à ce type d'énergie en plus d'une réduction des émissions carbone. A contrario, le mix Européen étant essentiellement basé sur les énergies thermiques (gaz et charbon) les économies d'émission de carbone sont bien plus significatives.

3. Mesures d'atténuation de l'empreinte carbone d'un projet PV

Les mesures suivantes permettent de diminuer davantage l'empreinte carbone d'un projet PV :

- Le maintien herbacé sous les panneaux solaires (naturel ou par ensemencement) associé au pâturage ovin : il permet d'améliorer la qualité du sol jusqu'à sa condition naturelle et augmente le flux de carbone stocké dans le sol.
- La plantation de haies : en plus d'un rôle d'atténuation paysagère les haies représentent un potentiel de biodiversité et de stockage carbone par photosynthèse.
- Les évolutions technologiques permettent d'améliorer constamment les rendements et durée de vie des panneaux solaires et des autres composants électroniques. Ces évolutions technologiques impactent aussi l'étape de fabrication des matériaux qui devient moins énergivore diminuant ainsi les émissions de carbone associées.

Documentation

- ADEME : Guide des facteurs d'émissions Version 5.0 Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, 2007 : https://www.territoire-energie.com/wp-content/uploads/2017/03/ademe_guide_calcul_ges.pdf
- ADEME : Carbone organique des sols. L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat.
- ADEME : Base carbone V17 : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/> consulté le 26/07/2021
- ADEME : Base carbone V22 : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/> consulté le 19/08/2022
- BESSEAU R. : Analyse de cycle de vie de scénarios énergétiques intégrant la contrainte d'adéquation temporelle production-consommation. Géotechnique. Université Paris sciences et lettres, 2019 : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-02732972/document>
- GAC A., DOLLE J.B., LE GALL A., KLUMPP K., TALLEC T. , *et al.* Le stockage de carbone par les prairies : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre. Le stockage de carbone par les prairies : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre, Institut de l'Elevage - INRA, 2020 : <https://hal.inrae.fr/hal-02824535/document>
- NATIONS UNIES : Protocole de Kyoto à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, 1997
- ROUSSEL F. : Taxonomie verte : ce qui est climato-compatible et ce qui ne l'est pas. Actu-Environnement.com, 21 avril 2021

Glossaire

Analyse du cycle de vie (ACV) : Cette analyse s'intéresse aux impacts environnementaux d'un produit ou d'un service sur l'ensemble de son cycle de vie : changement climatique, toxicité humaine, diminution des ressources fossiles, acidification, eutrophisation...

Facteur d'émission (FE) : Il est utilisé pour transformer une donnée d'activité physique en une quantité d'émission de gaz à effets de serre (GES).

Gaz à Effet de Serre (GES) : Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et contribuent ainsi à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est l'un des facteurs à l'origine du réchauffement climatique. Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O)... Leur impact est quantifié dans une mesure unique exprimée en tonne équivalent carbone (teq CO₂).

Pouvoir de réchauffement global (PRG) : C'est un indicateur visant à regrouper sous une seule valeur l'effet additionné de toutes les substances contribuant à l'accroissement de l'effet de serre. Il est disponible pour l'ensemble des gaz à effet de serre. Les six gaz pris en compte dans le protocole de Kyoto sont le CO₂, le CH₄ (méthane), le N₂O (protoxyde d'azote), les HFC (Hydrofluorocarbures), les PFC (Perfluorocarbures) et le SF₆ (hexafluorure de soufre). Le PRG est exprimé en « équivalent CO₂ » du fait que par définition l'effet de serre attribué au CO₂ est fixé à 1 et celui des autres substances relativement au CO₂. La méthode du bilan carbone est basée sur le PRG à 100 ans des différents gaz afin de tenir compte de la durée de séjour des différentes substances dans l'atmosphère.

Tableau 2 : Valeurs du Pouvoir de Réchauffement Global de plusieurs gaz à effet de serre (source : 4^{ème} rapport du GIEC)

Gaz	PRG relatif 100 ans
Dioxyde de carbone	1
Méthane	25
Protoxyde d'azote	298
Hydrofluorocarbures	124 à 14 800 selon les molécules considérées
Perfluorocarbures	7 300 à 12 200 selon les molécules considérées
Hexafluorure de soufre	22 800

Puit de carbone : Un puits de carbone ou puits CO₂ est un réservoir (naturel ou artificiel) qui absorbe (ou séquestre, ou encore stocke) du carbone depuis le cycle du carbone. Ce dernier est alors séquestré dans ce réservoir où son temps de résidence est très long par rapport à celui dans l'Atmosphère. En contribuant à diminuer la quantité de CO₂ atmosphérique, les puits de carbone influent sur le climat planétaire et donc sur toutes les composantes de l'environnement qui dépendent du climat.

Equivalence CO₂ : Il existe plusieurs gaz à effet de serre. Le gaz carbonique (CO₂) est le plus connu et le plus courant. Mais d'autres gaz, naturels ou artificiels, ont le même effet, avec cependant une action plus ou moins marquée. Par exemple, 1 kg de méthane, gaz issu des fermentations organiques, agit comme l'équivalent de 21 kg de CO₂, et 1 kg de dioxyde d'azote comme 310 kg de CO₂. L'ensemble des gaz issus d'un processus de fabrication est ainsi transformé et exprimé en une unité unique dite « équivalente ». Cette méthode dite des équivalences est utilisée pour exprimer d'autres impacts consécutifs à l'action combinée de plusieurs gaz distincts, comme l'acidification atmosphérique, en kg équivalent dioxyde de soufre (SO₂), ou l'épuisement des ressources naturelles, en kg équivalent antimoine.