

La région Nouvelle-Aquitaine est la plus productrice, avec 3,7 TWh, précédant l'Occitanie et la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (respectivement 2,8 TWh et 2,0 TWh).

La production de la filière permet de couvrir 2,9 % de la consommation en année glissante.

Puissance installée et projets en développement, objectifs PPE 2023

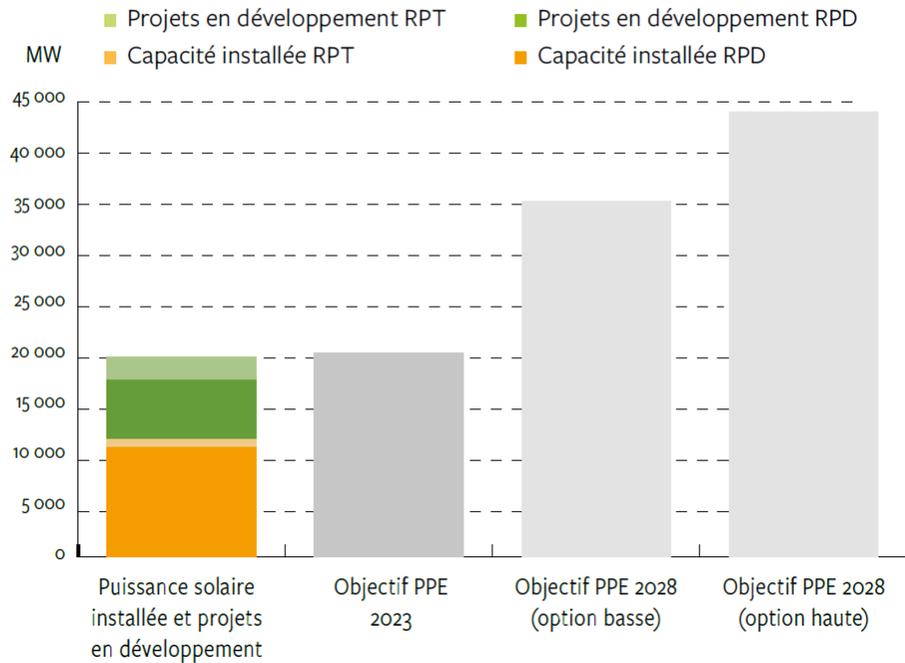


Illustration 6 : Objectifs de puissance en France

(Source : RTE/SER/ERDF/ADEeF (Source : Panorama de l'électricité renouvelable – juin 2021))

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

Le projet de parc photovoltaïque se situe au niveau du lieu-dit « Le Mont » dans le village de Le Mont à 2.5 km au nord de la commune de Marsac, située dans le département de la Creuse (23) en région Nouvelle-Aquitaine.

Marsac appartient à la Communauté de communes de Bénévent-Grand-Bourg.

Marsac se trouve à environ 50 km au nord-est de Limoges et à 30 km à au sud-est de Guéret, elle est limitrophe des communes suivantes :

- Le Grand-Bourg situé au Nord,
- Fursac au Nord-Ouest
- Arrènes au Sud-Ouest,
- Bénévent au Nord-Est,
- Mourioux-Vieilleville au Sud-Est.

2.2. HISTORIQUE DU SITE

Historiquement, les parcelles du site servaient de pâturage à l'élevage ovin. Le site est en friche depuis environ une quinzaine d'année.



CARTE LOCALISATION DU PROJET

Projet de centrale photovoltaïque - MARSAC
Lieu-dit "Le Mont"

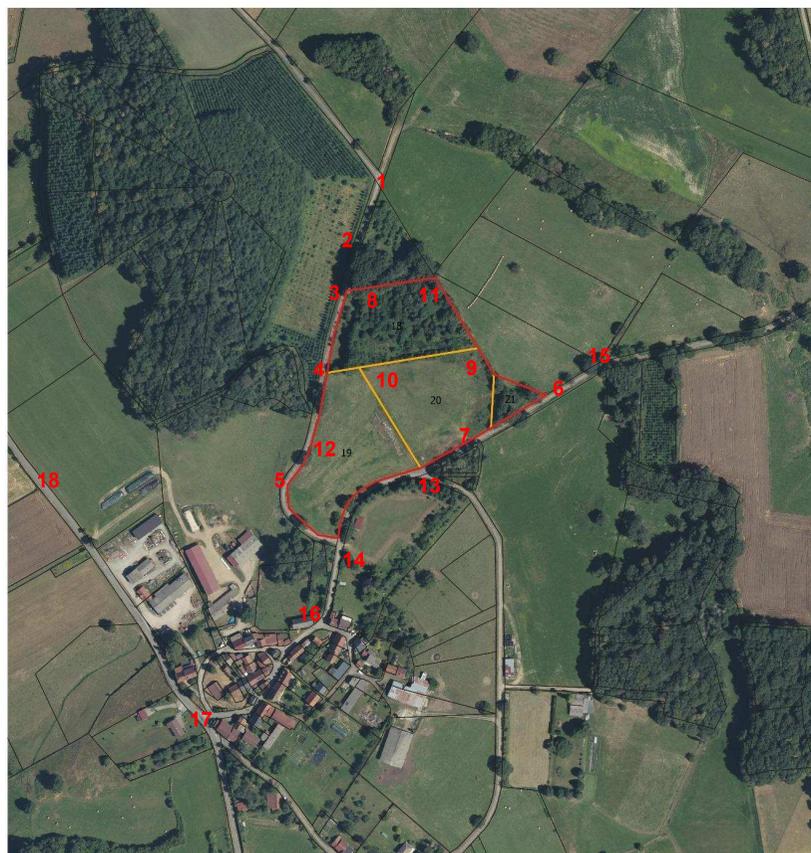


LEGENDE		ECHELLE	DATE
<p> ▭ Zone d'implantation potentielle ▭ Limite communale </p>		<p>0 500 1 000 m</p>	<p>Mai 2021</p>

Illustration 7 : Plan de situation du projet



CARTE LOCALISATION DU PROJET
 Projet de centrale photovoltaïque - MARSAC
 Lieu-dit "Le Mont"



LEGENDE		ECHELLE	DATE
<p>  Zone d'implantation potentielle  Parcelaire cadastral 18. Parcelles concernées par le projet </p>		<p>0 25 50 m</p> 	<p>Mai 2021</p>

Illustration 8 : Vue aérienne du site du projet



Illustration 9 : Vue n°1 depuis la route au nord du projet vers le sud (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 10 : Vue n°3 depuis la route à l'ouest du projet en direction du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 11 : Vue n°5 depuis le virage au sud-ouest du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 12 : Vue n°6 depuis la route à l'est en direction du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 13 : Vue n°7 depuis la route à l'est en direction du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 14 : Vue n°8 depuis le site du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)



Illustration 15 : Vue n°13 depuis la route au sud du site en direction du projet (Source : EREA Ingénierie – Août 2021)

2.3. SITUATION CADASTRALE ET MAITRISE FONCIERE DU SITE

L'aire d'étude immédiate se trouve sur la commune de Marsac, Section ZC 18, 19, 20 et 21. Leurs surfaces respectives en m² sont données ci-contre :

Section	N° de parcelle	Surface
ZC	18	8 971
ZC	19	11 500
ZC	20	10 100
ZC	21	1 400
Surface totale		31 971

Seuls 2,99 ha du site seront exploités par le parc photovoltaïque.
Les parcelles appartiennent à un propriétaire privé et à la mairie de Marsac.

La commune de Marsac, a émis, par délibérations datées du 16 mars 2018 et du 27 février 2021, un avis favorable pour l'implantation d'une centrale photovoltaïque sur les terrains cités ci-dessus (cf. délibérations du Conseil Municipal en annexe).

Une convention sous la forme d'une promesse de bail emphytéotique a été signée entre EREA Ingénierie et les différents propriétaires, pour une durée minimale de 25 ans reconductible deux fois dix ans.

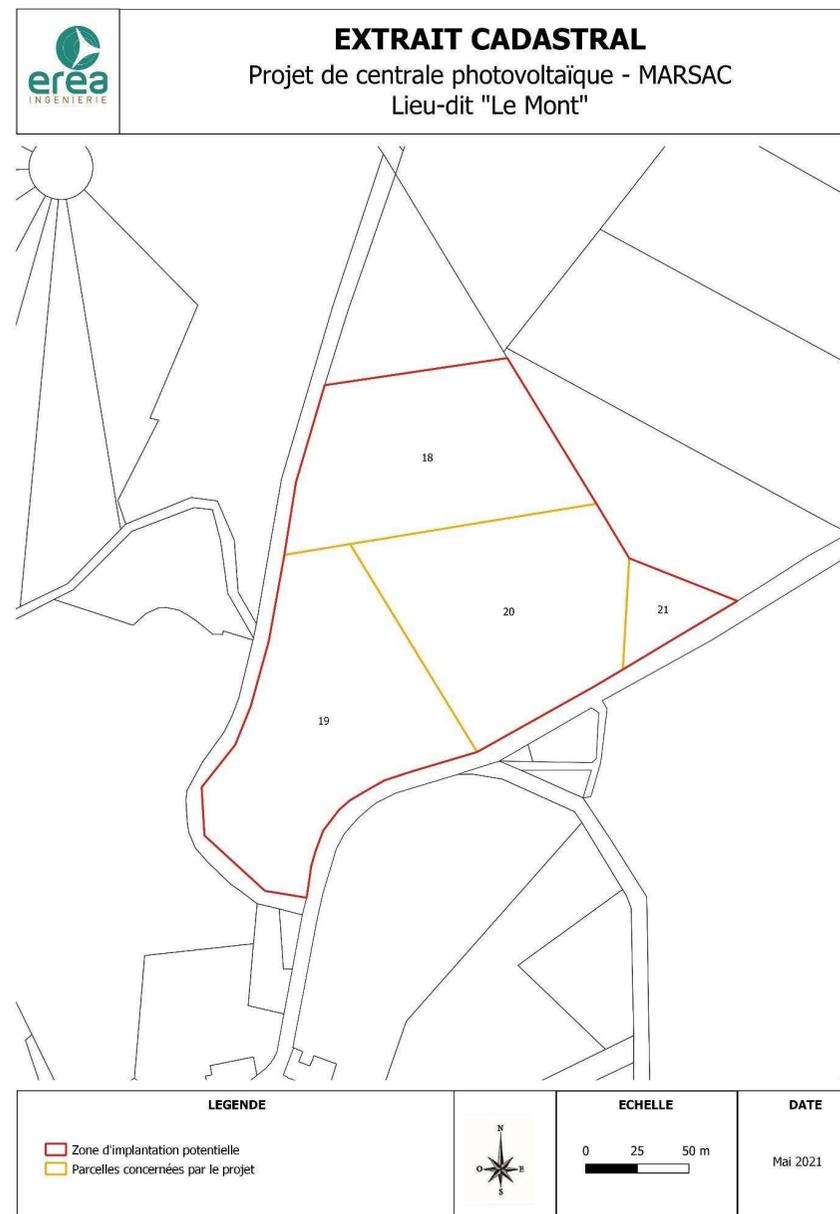


Illustration 16 : Extrait cadastral

2.4. ZONAGE REGLEMENTAIRE

La commune de Marsac est règlementée par un plan local d'urbanisme (PLU). Un plan local d'urbanisme intercommunal (PLUi) est en cours d'élaboration.

Le secteur du projet est situé en zone agricole A.

Un projet de PLUi est en cours d'élaboration. Il est envisagé de créer un secteur spécifique Ax sur lequel les installations nécessaires à la production d'énergies renouvelables seraient autorisées sous conditions : « Les constructions et installations liées à la production d'énergies renouvelables sont autorisées sous réserve qu'elles ne compromettent pas le caractère agricole de la zone et qu'elles respectent une bonne insertion au paysage et à l'environnement ».

Le projet de parc photovoltaïque sera donc compatible avec le PLUi.

2.5. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU PROJET

Le projet de centrale photovoltaïque s'étendra sur une superficie de 3,19 hectares environ, pour une puissance de 2,99 MWc.

Les principales caractéristiques du projet sont les suivantes :

Localisation	Marsac
Puissance de la centrale envisagée	2,99 MWc
Taille du site	3,19 ha – 2,99 ha clôturés
Estimation de la production de la centrale	3,366 GWh/an
Equivalentes foyers hors chauffage	1 400 foyers
CO2 évité à production équivalent	200 T/an
Durée de vie du projet	25 ans
Technologie envisagée	Silicium monocristallin (380 Wc)
Type de supports envisagés	1 964 Pieux battus et longrines
Nombre de modules	7 856
Hauteurs des structures par rapport au sol	80 cm
Locaux techniques	1 poste de transformation 1 poste de livraison

Illustration 17 : Caractéristiques principales du projet

Le plan de masse ci-dessous présente la position de l'ensemble des éléments techniques, ainsi que la position des clôtures et des chemins d'accès et de circulation.



Projet de centrale photovoltaïque au sol de Marsac (23)

PLAN DE MASSE

Surface cadastrale : 3,19 ha
 Surface clôturée : 2,99 ha
 Nombre de modules : 7 856
 Puissance : 2,99 MWc



Légende

- | | | |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Modules photovoltaïques | Clôture | Muret en pierre et fossé à conserver |
| Poste Onduleur/transformateur | Parcelles cadastrales | Chemin d'exploitation |
| Poste de livraison | ZIP | Création d'une haie |

Date : 12/07/2021

Echelle : 1/1250 en A3

Illustration 18 : Plan de masse (source : EREA INGENIERIE – Juillet 2021)

2.6. CONCEPTION GENERALE D'UN PARC PHOTOVOLTAÏQUE

2.6.1. COMPOSITION D'UN PARC PHOTOVOLTAÏQUE

Une centrale photovoltaïque au sol est constituée de différents éléments : des modules photovoltaïques, des structures support fixes, des câbles de raccordement, des locaux techniques comportant onduleurs, transformateurs, matériels de protection électrique, un poste de livraison pour l'injection de l'électricité sur le réseau, une clôture et des accès.

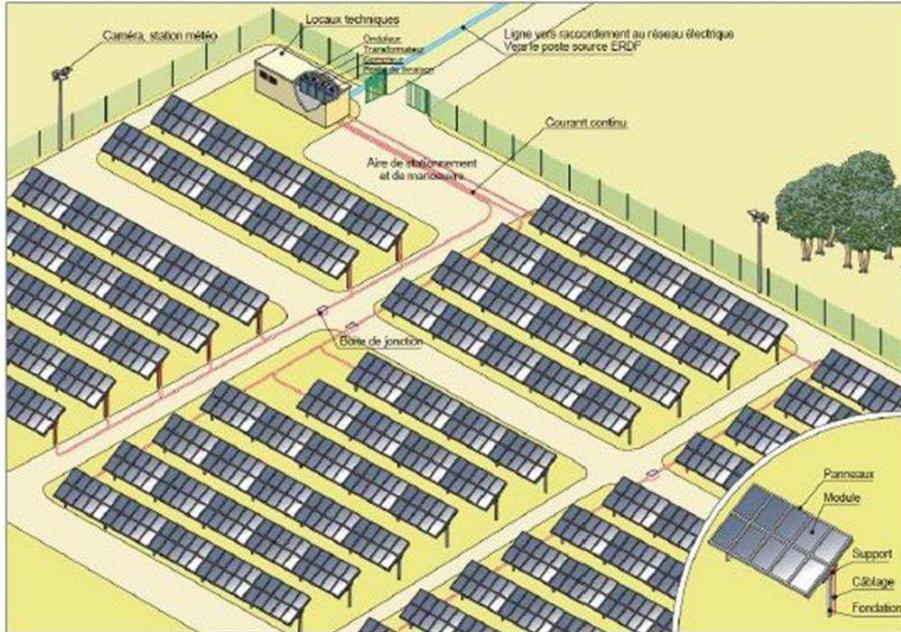


Illustration 19 : Schéma d'un parc photovoltaïque

2.6.2. ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN PARC PHOTOVOLTAÏQUE

2.6.2.1. LE CHOIX DE LA TECHNOLOGIE DES MODULES

Les modules photovoltaïques utiliseront la technologie silicium monocristallin pour ce projet.

Le silicium est l'élément chimique le plus abondant sur Terre après l'oxygène. Pour être utilisé dans la fabrication des cellules photovoltaïques mono ou polycristallines, il doit être extrait de la silice, purifié, mis en forme puis dopé.

Lorsqu'il est à l'état massif, on parle alors de silicium cristallin du fait de sa structure ordonnée. Le silicium purifié est produit sous forme de barreaux purifiés, de section carrée, qui sont ensuite découpés en plaquettes d'environ 0,2 mm d'épaisseur et de dimensions 12 x 12 ou 15 x 15 cm par exemple.

Pour la technologie polycristalline, les cellules sont constituées de cristaux de 1 mm à environ 2 cm assemblés. Ce matériau est moins onéreux que dans le cas de la technologie monocristalline.

Le silicium est découpé en tranches par des scies à fil. Sur les plaquettes obtenues, l'incorporation des dopants est réalisée, au moyen de techniques de diffusion ou d'implantation sous vide. Le silicium est par la suite recouvert d'une couche antireflet en face avant, qui réduit à moins de 5% les pertes par réflexion de la lumière incidente. C'est la couche antireflet qui donne la couleur bleue foncée caractéristique des panneaux photovoltaïques en technologie silicium cristallin. Le dessus et le dessous de la cellule sont ensuite recouverts par des contacts métalliques qui collecteront l'électricité générée. Pour laisser passer la lumière, l'électrode avant est déposée sous forme de grille. A l'arrière, la couche métallique est continue.

La figure ci-dessous présente une schématisation simplifiée en vue de côté d'une cellule photovoltaïque en technologie silicium cristallin.

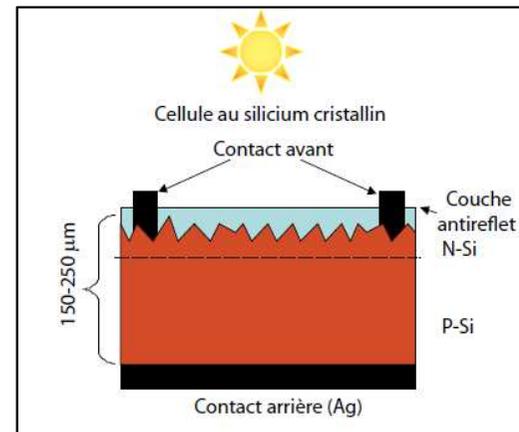


Illustration 20 : Schéma simplifié d'une cellule photovoltaïque en technologie silicium cristallin, en vue de côté (source : LINCOT CNRS - 2008)

Bien que plus ancienne, cette technologie représente encore 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances (rendement modules allant de 14 à 24 % pour une durée de vie de 30 ans environ) ainsi que des investissements importants qui lui ont été destinés, que ce soit pour la transformation du silicium, l'élaboration des cellules ou l'assemblage des modules.

Les principaux avantages des panneaux de type silicium monocristallin sont les suivants :

- des rendements importants,
- une action anti-réfléchissante,
- une durée de vie importante (+/- 30 ans),
- la garantie de la reprise et du recyclage en fin de vie des panneaux.

2.6.2.2. LES MODULES ET LES STRUCTURES

Les choix technologiques principaux influençant le design d'une centrale photovoltaïque sont le type des supports, des modules et des onduleurs. Ces choix sont réalisés en fonction des critères économiques, de terrain et d'objectifs de production.

Les panneaux photovoltaïques seront composés de modules de 172,1 cm de haut sur 101,6 cm de large, soit une surface par panneau de 1,75 m², et une épaisseur de 3 cm.

Le poids unitaire de chaque panneau est de 19,5 kg pour une puissance unitaire de 380 Wc.

Le parc sera composé de 7 856 panneaux inclinés à 20 °, en orientation sud.

Des espacements de 2 cm de large sont laissés entre les modules afin de favoriser l'écoulement des eaux de pluie, la diffusion de la lumière sous le panneau et la circulation de l'air.

Les lignes de panneaux sont séparées d'environ 3,53 mètres, afin d'éviter qu'elles ne se portent ombrage, ce qui rend également aisée la circulation d'engins entre deux lignes de panneaux.

Les structures porteuses des modules seront fixées au sol via des pieux battus à une profondeur de 100 à 150 cm.

Cette solution, simple à mettre en œuvre, et représentant une emprise au sol très réduite, permet d'éviter l'utilisation de plots béton ayant un impact plus important sur l'environnement (surface au sol plus grande, démantèlement plus compliqué). Afin de protéger la ressource en eau, des structures via des longrines pourront être implantées autour de la canalisation d'eau potable qui traverse le site dans un axe nord-sud. L'installation de longrines préfabriquées facilite l'installation et le démantèlement et évite les risques de pollutions des eaux souterraines.

Elles seront métalliques et démontables (système de trépied).



Illustration 21 : Exemple de pieux battus – Centrale photovoltaïque de Salbris dans le Loir-et-Cher (Source : EREA Ingénierie)

Le bord inférieur des tables est à 80 cm du sol, et le bord supérieur à environ 2,24 m au maximum.

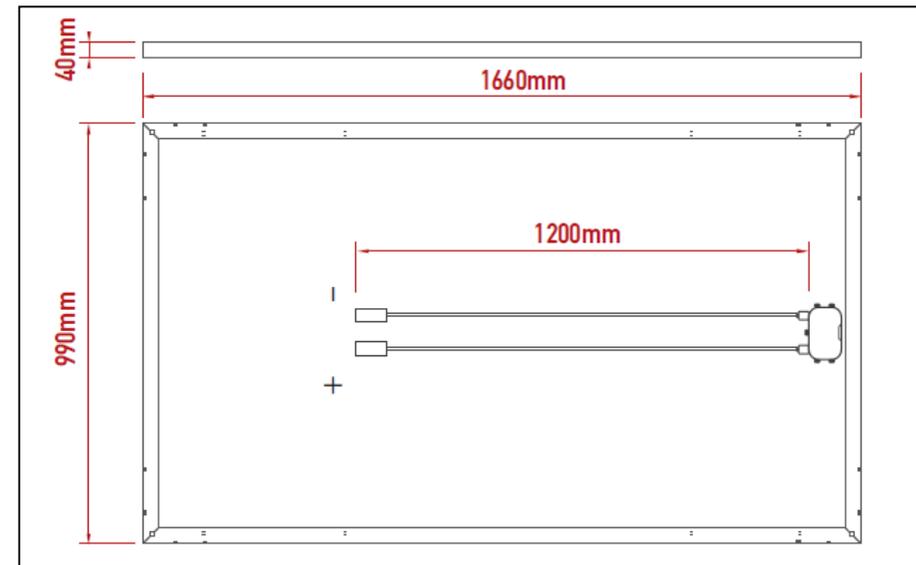


Illustration 22 : Schéma d'un panneau (Source : Recom Sillia)

2.6.2.3. LES LOCAUX TECHNIQUES

Afin d'assurer le fonctionnement du parc, il est projeté la construction de plusieurs locaux techniques :

- **1 local technique recevant les onduleurs et un poste de transformation**, qui permettent de transformer le courant continu produit par les modules en courant alternatif basse tension et les transformateurs permettent d'élever la tension du courant pour que ce dernier puisse être rejeté au réseau public HTA ;
- **1 poste de livraison unique**, dans lequel se trouveront les installations ENEDIS permettant le rejet du courant produit par les installations dans le réseau public (compteurs ENEDIS en particulier).

Le poste de livraison

Il constitue le point de jonction entre l'énergie produite par la centrale et le réseau public de distribution au travers des arrivées des postes de transformation et le départ vers le poste source.

Sa localisation est précisée sur le plan de masse (illustration 16). Ses dimensions seront de **9,26 m x 2,94 m x 3,24 m**. La photo ci-dessous donne un exemple de poste préfabriqué de ce type. Tous les équipements sont installés, câblés, raccordés et testés en usine.

Dans le cadre des installations photovoltaïques les postes de livraison comprennent :

- Un tableau moyenne tension type Sf6 avec tous les éléments permettant le raccordement au réseau public de distribution (cellules de comptages, sectionnement, protection...);
- Un transformateur auxiliaire 20KV/400V ;
- Un coffret BT pour les auxiliaires ;
- Un coffret PLC automate ;
- Un coffret de détection incendie ;
- Une armoire d'acquisition des données de supervision ;
- Une ventilation naturelle ;
- Un jeu d'accessoires normalisés (tabouret isolant, extincteur 2 kg...).

Dans le cas du présent projet, le poste de livraison sera positionné aux abords immédiats de l'entrée du site, au sud de la parcelle ZC 19.

Le poste de livraison sera équipé d'un bac de rétention afin de prévenir toute propagation d'une pollution accidentelle dans le milieu naturel.



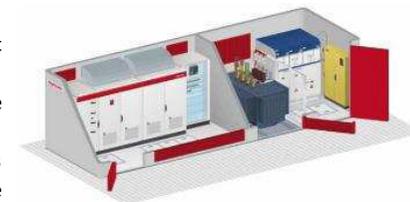
Illustration 23 : Exemple de poste de livraison – Centrale photovoltaïque de Saint-Jory de Chalais en Dordogne (Source : EREA Ingénierie)

Le poste de transformation

La localisation des bâtiments recevant les onduleurs est précisée sur le schéma d'implantation. Il se caractérise par les dimensions suivantes : **6,06 m x 2,44 m x 2,59 m**.

Chacun de ces postes de transformation accueillera :

- Un onduleur convertisseur DC/AC produisant un courant alternatif à partir du courant continu,
- Un transformateur Elévateur BT/HT de 1000 KVA triphasé immergé dans l'huile minérale à refroidissement naturel,
- Une cellule HTA par poste de transformation regroupant dans un ensemble compact toutes les fonctions moyenne tension de branchement, d'alimentation et de protection du transformateur.



La mise en place de chacun de ces bâtiments techniques nécessitera la réalisation d'un fond de fouille qui sera obtenu par décaissement du sol, nivellement et compactage avant remblaiement.

Le local technique et le poste de livraison occuperont une surface d'environ 42 m² soit 0,13 % de la surface totale de l'emprise du site.

2.6.2.4. RESEAU ELECTRIQUE INTERNE

Le réseau électrique interne sert à raccorder les modules, le poste de transformation et le poste de livraison. La connexion électrique entre les modules est fixée sous les structures portantes. Les câbles solaires HTA, de différents diamètres, très résistants aux courts-circuits, aux rayons UV et à l'eau, seront enterrés. Les tranchées d'enfouissement d'une profondeur de 80 cm maximum et de 60 cm de large seront conformes aux normes en vigueur.

2.6.2.5. LES AMENAGEMENTS CONNEXES ET VOIES DE CIRCULATION

L'ensemble des parcelles concernées par le projet photovoltaïque sera clôturé. Un grillage de couleur verte (RAL 6005) sera installé, sur une hauteur d'environ 2 mètres, afin d'éviter toute intrusion dans l'enceinte, pour des raisons de sécurité d'une part (risque électrique), et de prévention des vols et détériorations d'autre part. L'accès aux installations électriques sera limité au personnel habilité intervenant sur le site d'exploitation. L'accès au site est rendu possible par un portail principal en acier de couleur verte (RAL 6005) pour une meilleure intégration dans l'environnement local et équipé d'une serrure haute résistance, situé au sud de la parcelle ZC 19. Un système de télésurveillance permettra de rendre la centrale accessible à distance, notamment pour les services de secours. Un système de contrôle à distance des installations photovoltaïques sera mis en place pour permettre d'apprécier la qualité du rendement et les possibles dysfonctionnements du système.

Un nouveau réseau de chemin, permettant l'accès au futur parc, n'est pas nécessaire pour ce projet. Les voies de circulation actuelles permettent l'accès au projet.



Illustration 24 : Exemple d'aménagement de clôture (Source : EREA Ingénierie, Centrale photovoltaïque de Salbris)

Pour réduire le risque incendie, une borne incendie se situe à 110 m au sud du projet.

2.6.2.6. LES PISTES

Un chemin d'exploitation en calcaire blanc de 3 m de large permet de rejoindre les différents locaux électriques et de circuler en périphérie du parc.

Outre les pistes de circulation présentent au sein du parc, les rangées de modules sont espacées de 3,53 m du suivant pour permettre aux engins d'accéder aux rangées de panneaux. Ces espacements seront revégétalisés après la réalisation du parc et pourront être utilisés en phase d'exploitation par des véhicules légers pour des opérations de maintenance.

2.6.2.7. LES MODALITES DE RACCORDEMENT

Le projet pourra se raccorder sur le poste HTA/BT qui se situe au sud-ouest du projet à l'entrée du lieu-dit le Mont.

ENEDIS sera consulté en temps voulu pour affiner les possibilités de raccordement du projet. Le tracé se fait généralement en bord de route et de chemin afin d'optimiser le linéaire de raccordement et les zones d'excavation.

2.6.3. DESCRIPTIF DES TRAVAUX ET DES OPERATIONS DE MONTAGE

La vie d'un parc photovoltaïque comprend 3 phases :

- La phase chantier ;
- La phase exploitation ;
- La phase de démantèlement et réaménagement.

2.6.3.1. LA PHASE CHANTIER

L'emprise du chantier se situera dans le périmètre clôturé du projet. Cette emprise comprend les plates-formes de stockage du matériel et d'entreposage des conteneurs, plates-formes qui seront limitées dans le temps à la période de chantier. Elles seront ensuite remises en état après le chantier. La construction de la centrale photovoltaïque s'étalera sur une année pleine. Le chantier sera divisé selon les tranches développées ci-après :

- Préparation du chantier : Les travaux de défrichage, terrassement (si nécessaire) et la pose de la clôture s'étendra sur 2 mois,
- Ancrage et montage des structures : Les travaux d'installation des structures s'étaleront sur 6 mois,
- Pose des panneaux : l'installation des panneaux sur les structures nécessiteront 5 mois de travail,

- Pose des autres constituant de la centrale : les travaux d'installation des autres constituants de la centrale (onduleurs, boîtes de jonction, postes de transformation) sont prévus sur 4 mois,
- Finalisation de l'installation : Les essais et la mise en service de la centrale jusqu'au raccordement ENEDIS s'étendra sur 3 mois.

Pour le projet solaire, il n'y aura pas de travaux de terrassement du sol à prévoir sur la zone d'implantation des panneaux.

Préparation du site

La préparation du site dépend de la configuration de la zone.

Cette phase consistera essentiellement à aménager le site :

- apport des engins de chantier,
- décapage des zones où la végétation est gênante,
- mise en place de clôtures autour du site,
- creusement des fondations des structures et réalisation des tranchées pour les câbles électriques enterrés,
- mise en place des câbles d'évacuation enterrés des structures vers les onduleurs et des onduleurs vers le poste de livraison (le raccordement entre le poste de livraison et le poste source sera également enterré).



Illustration 25 : Exemple d'engins nécessaires sur le chantier

Les installations de chantier n'ayant qu'une vocation temporaire (facilement démontables), elles seront louées. Pour les structures et les panneaux, la mise à disposition sur site sera en flux tendu, cadencée sur le planning détaillé des travaux qui sera élaboré au démarrage de ces derniers, afin d'éviter un stock trop important sur le site et l'emprise au sol supplémentaire associée.

Les installations seront les suivantes :

- un container de stockage 200 m² pour le stockage des modules et structures (pour rappel, livrés en flux tendu),
- un algeco bureau et vestiaire pour le personnel de chantier,
- un container de stockage 300 m² pour le stockage des matériaux et matériel courant intégrant deux bungalows vestiaires et réfectoire ainsi qu'un bungalow bureau.

Le chantier prévoit l'utilisation d'une plateforme de stockage d'environ 75 m x 80 m, qui servira à accueillir les camions de transport du matériel, leur déchargement, leur stockage, ainsi que les bennes à déchets et les bungalows de chantier (environ 4, d'une surface unitaire de 18 m²) qui abriteront vestiaire, réfectoire et salle de réunion. La localisation de la plateforme de stockage n'est pas connue au stade actuel du projet.

Phase de montage des structures photovoltaïques

Cette phase consiste à mettre en place les structures et à poser les modules. Les structures sont mises en place et maintenues en place avec l'utilisation de pieux battus enfoncés jusqu'à 1 m dans le sol. Cette technologie permet de ne pas avoir recours à des fondations bétonnées et facilite le déploiement. Une machine à sonnette de battage permet le battage de profilés pour l'installation des fondations des panneaux photovoltaïques.



Illustration 26 : Montage des structures porteuses sur la centrale photovoltaïque de Salbris – Loir-et-Cher (Source : EREA Ingénierie)

Phase de pose des panneaux photovoltaïques

Une fois les structures montées, les modules photovoltaïques sont posés sur les structures.



Illustration 27 : Montage des structures porteuses et des modules sur la centrale photovoltaïque de Salbris – Loir-et-Cher (Source : EREA Ingénierie)

Phase de raccordement électrique

Après le montage des structures photovoltaïques, la dernière phase constitue le raccordement du circuit électrique entre le réseau de câbles, les onduleurs, le poste de livraison, les capteurs, ...

Le raccordement au réseau électrique ENEDIS en souterrain s'effectuera en parallèle des travaux des installations, après l'obtention des autorisations (procédure d'approbation selon le décret du 29 juillet 1927, et notamment l'article 50 relatif aux travaux de raccordements électriques, fixant les règles de procédure d'instruction des demandes de concessions et d'autorisation des lignes).



Illustration 28 : Raccordement des modules – centrales photovoltaïques de Salbris (41) et Saint-Jory de Chalais (24) (Source : EREA Ingénierie)

2.6.3.2. LA PHASE D'EXPLOITATION DE LA CENTRALE

En phase d'exploitation, l'entretien et la maintenance de l'installation sont mineurs et consistent essentiellement à :

- Gérer le pâturage par les moutons. L'éleveur veillera au planning de pâturage, à déplacer les clôtures mobiles électriques et l'abreuvement du troupeau,
- Entretien des haies déjà existantes et les plantations,
- Remplacer les éventuels éléments défectueux des structures,
- Remplacer ponctuellement les éléments électriques selon leur vieillissement (onduleurs par exemple),
- Vérifier régulièrement les points délicats (câbles électriques, surface des panneaux, clôture, caméra de vidéosurveillance, ...).

L'exploitation de la centrale recouvrira les tâches suivantes :

- La conduite à distance de l'installation 24h/24 et 7j/7 (notamment la conduite des onduleurs et l'ouverture ou la fermeture du disjoncteur du poste de livraison pour isoler ou coupler l'installation au réseau ENEDIS),
- Un système d'astreinte permettant l'intervention sur site 24h/24 et 7j/7 pour mise en sécurité des installations, dans le cas où les défauts ne peuvent être résolus à distance par télécommande,
- La télésurveillance du site grâce à des caméras (système de vidéo surveillance qui permettra d'une part la surveillance du fonctionnement de la centrale et d'autre part de prévenir les éventuels départs d'incendie),
- La gestion des accès du site,
- Les relations avec le gestionnaire du réseau (ENEDIS).

La maintenance inclura :

- Les opérations de maintenance préventive sur l'ensemble de la centrale, aussi bien sur les infrastructures que sur les installations électriques. Ces dernières seront réalisées selon un calendrier conforme aux recommandations du constructeur,
- Les opérations de maintenance corrective, également sur l'ensemble des installations de la centrale, qui consisteront, en cas de défaillance d'un équipement, en sa réparation ou en son remplacement.

Une visite trimestrielle au minimum de l'ensemble du site est prévue, ainsi qu'une visite annuelle de maintenance préventive sur les installations électriques. Les opérations de pâturage et autres mesures d'entretien du site, seront menées selon les besoins identifiés à minima lors de la visite trimestrielle.

La durée de vie estimée du projet est garantie sur au moins 25 ans :

- La durée de vie des modules est garantie sur 30 ans pour une production au moins égale à 80% de son niveau initial,
- La durée des contrats d'achat d'électricité par ENEDIS est de 20 ans.

2.6.3.3. LA PHASE DE DEMANTELEMENT, REMISE EN ETAT ET RECYCLAGE DES INSTALLATIONS

Le rendement des panneaux photovoltaïques est garanti pendant 30 ans. Au-delà, deux solutions pourront être envisagées :

- Maintien en exploitation du parc photovoltaïque avec remplacement progressif des panneaux en fin de vie par des panneaux plus performants,
- Démantèlement de l'exploitation par l'opérateur et à ses frais.

Dans le cadre de la remise en état du site, et au-delà du recyclage des modules, l'exploitant a prévu le démantèlement de toutes les installations :

- Le démontage des tables de support, les supports et les pieux ;
- Le retrait des locaux techniques (poste de livraison) et des systèmes de surveillance ;
- L'évacuation des réseaux câblés, des modules, structures métalliques et pieux battus ;
- Le démontage et retrait des câbles et des gaines ;
- Le démontage de la clôture périphérique.

Les modules photovoltaïques rentrent dans le champ d'application des Déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), à ce titre, ils seront recyclés au travers d'un procédé simple de traitement thermique qui permet de dissocier les différents éléments du module permettant ainsi de récupérer séparément les cellules photovoltaïques, le verre et les métaux (aluminium, cuivre et argent).

L'association française **Soren**, anciennement **PV Cycle France** est un éco-organisme de collecte agréée par les pouvoirs publics pour la collecte et le traitement des panneaux photovoltaïques usagés en France.

Soren est une société sans but lucratif fondée en 2014, agréée par les pouvoirs publics et détenue par 7 entités actives dans la filière photovoltaïque :

- EDF ENR Solaire ;
- EDF ENR PWT ;
- ENGIE ;
- Urbasolar ;
- PV CYCLE Association ;
- Syndicat des Energies Renouvelables ;
- Voltec Solat.

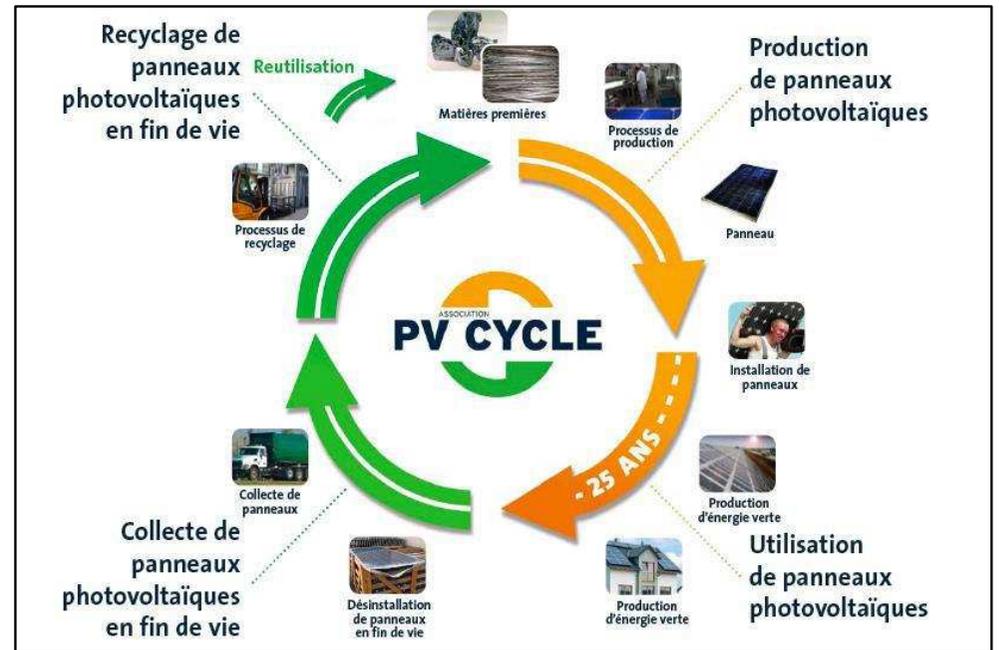


Illustration 29 : Analyse du cycle de vie des panneaux cristallins (Source : PV Cycle)

Entre 2015 et 2020, ce sont plus de 15 000 tonnes qui ont été collectées sans frais pour les détenteurs directement sur les chantiers de démantèlement ou par le biais du réseau de points d'apport volontaires. Le taux de valorisation pour un module photovoltaïque à base de silicium cristallin avec cadre en aluminium varie aujourd'hui entre 90% et 94%.

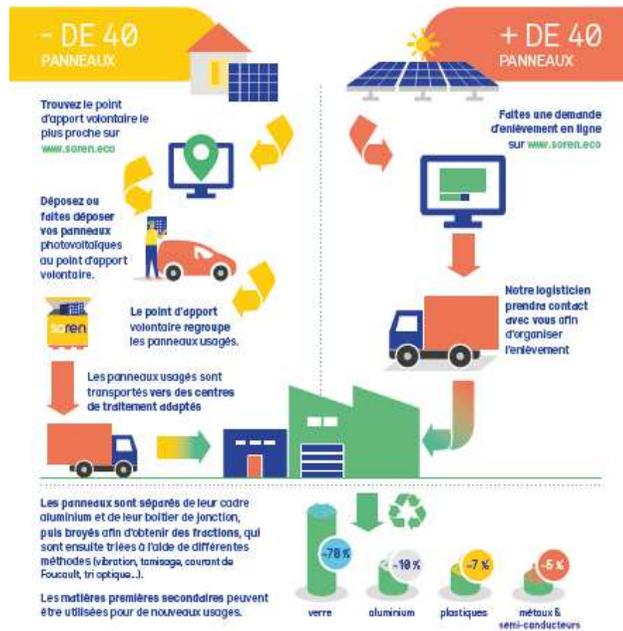


Illustration 30 : Collecte et recyclage des panneaux cristallins (Source : Soren)

Au-delà de 40 panneaux, PV Cycle enlève gratuitement sur site les modules photovoltaïques.

Les panneaux photovoltaïques doivent être :

- **Propres et non souillés** : PV CYCLE France ne reprend pas les panneaux photovoltaïques usagés présentant un risque pour la santé et la sécurité.
- **Intègres, complets et non désassemblés** : absence de partie prélevée ou détachée, sauf dans le cas des pièces détachées ayant fait l'objet d'une traçabilité dans le cadre d'accords particuliers.
- **Séparés des autres déchets** : notamment lorsque ces derniers proviennent d'un site de démolition, ou d'un dégât du feu.
- **Entreposés sur une zone accessible et stabilisée (bitumée, goudronnée, ...)** au moyen d'un engin de manutention et d'une semi-remorque.
- **Conditionnés par technologie** : Silicium cristallin/polycristallin – Silicium amorphe/micromorphe flexible – Silicium amorphe/micromorphe non flexible – Cl(G)S – CdTe – PV à concentration
- **Conditionnés sur des unités de manutention préhensibles avec un engin de manutention à fourches**
- **Cerclés (2 sangles par côté) et filmés** lorsqu'ils sont conditionnés sur palette. Le conditionnement doit permettre d'assurer la stabilité des palettes et garantir des conditions de sécurité optimales pour leur manipulation et leur transport.



Illustration 31 : Conditionnement des palettes de panneaux photovoltaïques usagés

Le point de collecte en vue du recyclage des installations photovoltaïques (Sunciel) est localisé à environ 33 km du projet sur la commune Guéret (Creuse).

Voici la répartition des différentes fractions composant un panneau solaire photovoltaïque :



Illustration 32 : Répartition des différentes fractions composant un panneau solaire photovoltaïque (Source : Soren)

2.6.4. ESTIMATION DES TYPES ET DES QUANTITES DE RESIDUS ET D'EMISSIONS ATTENDUS

Le tableau suivant présente les principaux types de déchets et d'émissions produits lors du chantier et lors de l'exploitation :

Phase	Type de déchet	Estimation des quantités
Chantier	Déchets verts (Restes de fauche/coupe de végétation)	9 700 m ² à défricher
	Déchet industriel banal (ferrailles, verres, papier-carton, plastique)	Non quantifiable
	Déchets inertes (terres, roches, ...)	
	Déchets ménagers	
	Déchets dangereux (huiles, hydrocarbures)	
Exploitation	Panneaux usagés	Aléatoire
	Fauche	Pâturage par les ovins
Démantèlement	Matériaux de la centrale	Masses approximatives des principaux composants (hors câbles électriques) sont les suivantes pour un parc de 2,99 MWc : - Modules photovoltaïques : 542 tonnes (verre, silicium, aluminium) - Châssis de support modules : 113,98 tonnes (acier) - Locaux techniques : 46,31 tonnes (béton, cuivre, appareillage électrique) (Source : rapport étude d'impact projet parc photovoltaïque la Souterraine – Juillet 2016)

Phase	Type d'émissions	Estimation des quantités
Chantier	Pollution accidentelle (hydrocarbures) des eaux	Non quantifiable
	Emissions sonores (engins de chantier)	5 engins fonctionnant en simultané 85 dB(a) à 5 m
	Emissions de vibrations (engins de chantier)	Non quantifiable Nuisances limitées dans le temps (heures et jours de travail) et l'espace (projet et abords immédiats).
	Emissions de poussières et de gaz d'échappement des engins de chantier	Non quantifiable Nuisances limitées dans le temps (heures et jours de travail) et l'espace (projet et abords immédiats).
	Emissions lumineuses	Non quantifiable Nuisances limitées dans le temps (heures et jours de travail) et l'espace (projet et abords immédiats).
	Rejets d'eau	Non quantifiable Limités à l'arrosage par temps sec des pistes
Exploitation	Pollution accidentelle (hydrocarbures) des eaux	Non quantifiable
	Effets d'optique/miroitement	Non quantifiable
	Emissions sonores	En activité, le parc n'émet pas d'émissions sonores
Démantèlement	Emissions de poussières et de gaz des véhicules de maintenance	Négligeable, seul un ou deux véhicules interviendront sur le site tous les 3 mois
	Emissions de poussières et de gaz des engins	Non quantifiable Nuisances limitées dans le temps (heures et jours de travail) et l'espace (projet et abords immédiats).

Illustration 33 : Tableau des estimations des rejets et émissions attendus

2.6.5. BILAN CO₂ ET TEMPS DE RETOUR ENERGETIQUE DU PROJET

2.6.5.1. BILAN ENERGETIQUE

Pour qu'une énergie soit qualifiée de « renouvelable », elle se doit de produire bien plus d'énergie que celle dont elle a besoin au cours de son cycle de vie.

- **Fabrication des modules photovoltaïques et réalisation du Balance of System (BoS) :**

Le BoS désigne l'ensemble des composantes du projet, hormis les modules photovoltaïques. Cela concerne notamment les structures, réseaux, onduleurs, etc.

Le tableau suivant présente les données issues de l'étude du développement de l'énergie solaire en Rhône-Alpes :

		Quantité d'énergie dépensée pour la fabrication de 1 kWc en technologie monocristallin (exprimé en kWh)
Module photovoltaïque	Silicium métallurgique	349
	Wafers	2 365
	Cellule	240
	Module	51
BoS	Structures & câbles	212
	Onduleurs	166
Total kWh/kWc		3 383

Illustration 34 : Quantité d'énergie nécessaire à chaque phase de production d'un système photovoltaïque (Source : Etude du développement de l'énergie solaire en Rhône-Alpes, Axenne-Ernest&Young, 2010)

Ainsi, l'énergie nécessaire à la fabrication des modules monocristallin et au BoS peut être évaluée à 3 383 kWh/kWc.

A titre de comparaison, le choix de la technologie polycristallin porterait la quantité d'énergie pour chaque phase de production d'un système photovoltaïque à 2 886 kWh/kWc.

- **Transport**

Selon l'étude « Energy Payback Time of Grid Connected PV Systems : Comparison Between Tracking and Fixed Systems », la dépense énergétique liée au transport des matériaux nécessaires à la construction d'un parc photovoltaïque a été évaluée à 1 037 MJ/kWc installé, dans l'hypothèse où la ferme photovoltaïque est située à une distance de :

- 850 km du fabricant des structures ;
- 500 km des fabricants des modules et des shelters ;
- 100 km des fournisseurs de câbles et autres matériels électriques.

Aussi, pour faire correspondre la dépense énergétique du projet de Marsac avec les données de l'étude précédemment décrite, l'estimation de 2 000 MJ/kWc installé peut être considérée comme une approximation acceptable de la dépense énergétique pour le poste projet.

L'énergie nécessaire au poste Transport pour la centrale photovoltaïque de Marsac peut être évaluée à 2 000 MJ/kWc, soit 556 kWh/kWc.

- **Exploitation du parc photovoltaïque**

En phase d'exploitation, les principales dépenses énergétiques sont :

- Le fonctionnement des différents auxiliaires de la centrale (par exemple les automates de commande, etc.). Ce poste peut être considéré comme négligeable par rapport aux autres postes de dépense ;
- Le déplacement des techniciens pendant les opérations de maintenance. Une estimation réalisée par EDF-EN sur le parc photovoltaïque de Narbonne à partir des données communiquées par la société EDF EN Services (exploitant de la centrale) chiffre à 132 MJ/kWc l'énergie primaire nécessaire au déplacement de ces techniciens, en considérant une durée d'opération et de maintenance de 20 ans et une distance avec le centre régional de maintenance de 22 km.

Les distances prises en compte dans cette approximation sont une bonne estimation du poste Exploitation de la centrale photovoltaïque pour le projet de Marsac. En considérant une durée d'exploitation de 25 ans dans le cadre du projet de Marsac, **on peut donc considérer que l'énergie nécessaire à l'exploitation de la centrale sera de l'ordre de 198 MJ/kWc installé, soit 55 kWh/kWc.**

- **Démantèlement et remise en état du site :**

Le démantèlement constitue une étape qu'il est difficile d'évaluer en termes de quantité d'énergie nécessaire. Selon l'étude « Energy Payback and Life-cycle CO2 Emissions of the BOS in an Optimized 3.5 MW PV Installation », l'énergie nécessaire à l'évacuation des différents composants de la centrale photovoltaïque a été évaluée à 10 MJ/m² de module monocristallin posé.

Dans le cadre du projet photovoltaïque de Marsac, on peut considérer :

- Des modules photovoltaïques de 1,75 m² chacun, d'une puissance unitaire de 380 Wc ce qui représente 217,1 Wc/m²
- Une surface totale de 13 737 m² de modules photovoltaïques posée
- Une puissance totale de 2,99 MWc

Sur cette base, on peut estimer que l'énergie nécessaire au démantèlement de la centrale photovoltaïque de Marsac peut être évaluée à 137370 MJ soit 38 158,33 kWh. **Compte tenu de la puissance de la centrale de Marsac, cela équivaut à environ 12,8 kWh/kWc installé.**

- **Application au projet de Marsac, temps de retour énergétique du projet :**

Le temps de retour énergétique correspond au délai évalué en année qu'il faut pour qu'une centrale photovoltaïque « rembourse » le contenu énergétique nécessaire à sa fabrication, son fonctionnement et son démantèlement. Pour le projet de Marsac, l'énergie consommée durant l'ensemble des phases de son cycle de vie est résumée dans le tableau qui suit.

Composante du projet de centrale photovoltaïque	Bilan énergétique	Production électrique compensatrice nécessaire
Fabrication des modules monocristallins	3 005 kWh/kWc installé	8 984,95 MWh
Réalisation des autres composantes du projet (structures, réseau, onduleurs, etc.)	378 kWh/kWc installé	1 130,22 MWh
Transport	556 kWh/kWc installé	1 662,44 MWh
Exploitation	46 kWh/kWc installé	137,54 MWh
Démantèlement et remise en état du site	12,8 kWh/kWc installé	38,16 MWh
Total	3 997,8 kWh/kWc installé	11 952,9 MWh

Les conditions d'ensoleillement (environ 1 436 kWh/m²/an en considérant une irradiation reçue avec un angle de 20° par rapport à l'horizontal) et les données techniques de la centrale permettent d'estimer la production énergétique moyenne du projet à environ 6 708 MWh/an (valeur moyenne observée sur la durée d'exploitation).

Une période de 1 ans et 9 mois de fonctionnement de la centrale photovoltaïque de Marsac sera requise pour produire l'énergie nécessaire à tout son cycle de vie (de la fabrication des modules jusqu'à leur recyclage). La durée de vie envisagée de la centrale étant de 25 ans, le bilan énergétique est largement et très rapidement positif.

2.6.5.1. BILAN CO₂

Une centrale photovoltaïque, une fois en fonctionnement, produit de l'énergie sans émission de gaz à effet de serre. C'est essentiellement à la fabrication des modules que se situent les émissions de CO₂ d'une centrale photovoltaïque. D'autre part, l'énergie photovoltaïque est très peu polluante et ne rejette aucun gaz toxique, aucune fumée, aucune poussière polluant l'atmosphère. Quantitativement, la matière première nécessaire à la production d'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite. Il n'y a donc pas d'impacts dû à la surexploitation de la ressource. Ainsi, l'utilisation des énergies renouvelables permet d'obtenir un effet de substitution sur l'emploi des énergies fossiles, ce qui permet de réduire les émissions de CO₂.

D'après la Base Carbone de l'ADEME, consultable en ligne sur <http://www.bilans-ges.ademe.fr/>, la production d'électricité française est à l'origine, en moyenne, de l'émission de 82,0 g de CO₂ par kWh produit.

L'étude « Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power : A critical survey » publiée dans la revue scientifique Energy Policy en 2008, estimait que la production d'électricité d'origine photovoltaïque en utilisant des modules photovoltaïques en technologie polycristalline entraînaient l'émission de 32,0 g de CO₂ par kWh produit.

Les conditions d'ensoleillement et les données techniques de la centrale permettent d'estimer la production énergétique moyenne du projet à environ 6 708 MWh/an (valeur moyenne observée sur la durée d'exploitation, soit 25 ans). Aussi, sur la durée d'exploitation de la centrale, on peut estimer la production énergétique totale à 167 700 MWh.

Le tableau suivant permet de comparer les rejets de CO₂ liés à la production énergétique selon que l'on se trouve dans le cas de la centrale photovoltaïque de Marsac ou des moyens de production traditionnels français.

	Centrale photovoltaïque de Marsac	Moyens de production traditionnels (selon le mix énergétique français)
Production énergétique annuelle	6 708 000 kWh	
Durée de l'exploitation	25 ans	
Production énergétique totale	167 700 000 kWh	
Emission de CO ₂ par kWh produit	32,0 g de CO ₂ /kWh produit	82,0 g de CO ₂ /kWh produit
Rejets de CO ₂ totaux liés à la production énergétique	5 366,4 tCO ₂	13 751,4 tCO ₂
Rejets de CO₂ évités par le fonctionnement de la centrale photovoltaïque de Marsac	8 385 tCO₂	

Ainsi, le projet de centrale photovoltaïque de Marsac permettrait d'éviter l'émission de 8 385 tonnes de CO₂ sur la durée d'exploitation. Le projet apporte donc une contribution significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'atteinte des objectifs nationaux et européens.