

« Réduire son impact, renforcer sa résilience »

Bilan d'émissions GES d'un projet agrivoltaïque Les Chalindrés, La Nouvelle-lès-Scey (70)



Illustration projet agri-photovoltaïque (europeanenergy.com)

Destinataire

European Energy
Aurélie Quinchard
Directrice technique France
+33 662888749
aqui@europeanenergy.com

Synops Conseil

Amaury Vaussanvin
Cogérant
07 89 30 12 12
a.vaussanvin@synops-conseil.fr
www.synops-conseil.fr

01/08/2024 – Rapport V4

Table des matières

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE LA MISSION	3
PRESENTATION DU PROJET ET DONNEES	4
LE PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE	4
DONNEES TECHNIQUES	4
METHODOLOGIE	7
BILAN D'EMISSIONS GES	10
BILAN GES GLOBAL	10
BILAN GES CENTRALE PV	11



Contexte et objectifs de la mission

European Energy développe en France des projets agrivoltaïques combinant la pérennisation d'une activité agricole et la production d'électricité photovoltaïque. La production électrique est valorisée sous forme de PPA. Les électrons seront injectés sur le réseau électrique.

European Energy, à travers sa société-projet **LES CHALINDRES** porte le développement de l'un de ces projets dans la Haute-Saône (70) qui ambitionne notamment l'implantation de 28,8 MWc de panneaux photovoltaïques. Afin de mettre en œuvre d'éventuelles actions de réduction d'impact environnemental ainsi que d'alimenter les procédures administratives en cours European Energy souhaite réaliser un bilan carbone simplifié de son projet.

Le projet agricole repose sur la conversion des terrains actuellement destinés à la production de sapins en pâturage bovin extensif. Le passage des engins agricoles sera assuré entre les structures si nécessaire ; les modules pouvant être orientés de façon à faciliter la conduite de l'activité agricole et assurer la libre circulation des bovins.

Ce rapport se concentre sur la réalisation du bilan d'émissions GES du projet de centrale agrivoltaïque .

Présentation du projet et données

Le projet de centrale agrivoltaïque

Le projet de centrale agrivoltaïque est situé sur la commune de La Nouvelle-lès-Scey dans le département de la Haute-Saône (70).

Le projet vise à mettre en place une centrale photovoltaïque de 28,8 MWc sur un foncier agricole exploité pour la production de sapin. Le projet est conçu pour permettre un double usage du foncier : la production d'énergie et la préservation de l'activité agricole avec la création d'un pâturage bovin extensif.

Le projet agrivoltaïque est dimensionné à 28,8 MWc :

- 46 852 modules photovoltaïques de 615 W disposés sur des trackers solaires ;
- Dans sa globalité le projet se trouve sur une emprise foncière d'environ 75 ha qui comprend les installations photovoltaïques, les équipements électriques associés (onduleurs, transformateurs...), les voiries et clôtures, mais également le maintien d'une partie d'exploitation de sapin, servitudes... Le projet d'agrivoltaïsme lui est limité à 44 ha.
- Sur ces 44 ha ➔ 42 ha sont destinés à être transformés en pâturage bovin.
- Le productible photovoltaïque estimé est de 1 309 MWh/MWc soit 35 142 MWh en moyenne pendant 40 ans.

La présente étude vise à réaliser un bilan d'émissions de gaz à effet de serre en phase d'avant-projet. Celle-ci prend en compte l'ensemble des émissions de GES liés aux équipements, installations et aménagements du site sur la durée de vie du projet, s'intéresse aux émissions liées à la production de fourrage et au changement d'affectation du sol.

Données techniques

Pour la réalisation de l'étude les principales des données techniques ont été collectées auprès du porteur de projet, European Energy, de constructeurs et fournisseurs (modules PV, onduleurs, équipement divers) et/ou sont issues de rapports d'études du projet. Des hypothèses et extrapolations ont pu être prises pour les besoins de l'étude. Ces données ont été utilisées pour l'estimation des émissions de GES du projet.

Données générales

Emprises foncière		
Emprise totale	441 000	m ²
Emprise foncière modules	126 556	m ²
Emprise foncière voirie	32 645	m ²
Emprise foncière - autres (postes, plateformes, aménagement)	371	m ²
Surface agricole exploitée	421 500	m ²
Productible - PV		
Durée de vie projet	40	ans
Puissance installée	28 814	kWc
Nombre de modules	46 852	modules
Productible spécifique (P50 ou P90)	1 309	kWh/kWc
Puissance totale onduleur	22 500	kW
Nombre onduleurs	75	onduleurs
Puissance totale transformateurs	24 900	kW
Nombre transformateurs	8	transformateurs
Productible année 1	37 706 000	kWh
Productible moyen	35 142 000	kWh



Centrale agrivoltaïque

Les principales données techniques associées aux installations et équipements sont listées ci-dessous. Le détail n'est pas exhaustif, mais reprend les éléments dimensionnants qui seront intégrés au bilan des émissions de GES qui intégrera les postes d'émissions significatifs.

Modules photovoltaïques

Le projet comprend 5 252 modules photovoltaïques monocristallins d'une puissance unitaire de 610 W. Le modèle LONGI LR7-72HGD-615M a été retenu pour l'étude. Ce module ne dispose pas encore d'une évaluation carbone simplifiée qui puisse être exploitée. Il est pris une donnée conservatrice de la part du constructeur LONGI sur un module de la précédente génération (LR5-72HGD).

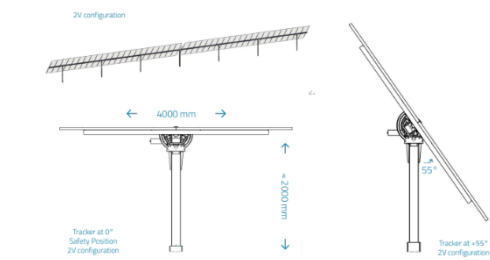


Onduleurs et transformateurs

L'installation en projet comprend la mise en place de 9 onduleurs photovoltaïques centraux (Huawei) d'une puissance de cumulé de 3000 kW qui seront associés à un transformateur électrique en amont du raccordement au réseau. La durée moyenne entre pannes (souvent utilisé par son acronyme anglais MTBF, Mean time between Failure) est estimée à plus de 30ans. Il est prévu un remplacement durant le temps de vie (40 ans) de l'installation.

Trackers solaires

Dans une logique d'optimisation du productible les modules photovoltaïques seront disposés sur des trackers solaires horizontaux mono-axe de type Optimum Tracker.



Equipements électriques annexes

- 75 armoires électriques sont prévues
- 480 kilomètres de câbles DC et 10,7 km de câbles haute tension sont également prévus pour le projet.

Aménagement du site

- Création de 2 741 mètres de piste carrossable en concassé (4 mètres de large, 20 à 40 cm d'épaisseur de concassé.)
- Mise en place de 5248 mètres linéaires de clôture grillagée (acier galvanisé, maille 15 cm, hauteur 2 m.)
- 1 Réserves incendie souple d'une capacité totale de 240 m3 seront réparties sur le site.

Les données liées à la réalisation des travaux de construction et d'installation du projet n'ont pas été consolidées et ne sont pas intégrées à l'étude.

Culture de sapin

Nous retenons l'hypothèse que la culture de sapin est assimilable à une culture au sens de l'UTCf. En effet, le temps de pousse de ces résineux est d'environ 5 à 10 ans ce qui est un laps de temps assez court. S'agissant d'une monoculture de résineux (faible puits carbone comparé à d'autres végétaux).

Pâturage bovin extensif

Un pâturage bovin extensif est une méthode d'élevage de bovins où les animaux sont élevés sur de vastes superficies de terre, généralement avec une faible densité de bétail par hectare. Cette approche contraste avec les systèmes intensifs où les animaux sont souvent confinés dans des espaces plus restreints et reçoivent une alimentation complémentaire pour maximiser la production.

Voici quelques caractéristiques et avantages d'un pâturage bovin extensif :

- Faible densité de bétail : Les animaux ont plus d'espace pour se déplacer, ce qui permet une alimentation naturelle et variée à partir des plantes présentes sur le pâturage.
- Alimentation naturelle : Les bovins se nourrissent principalement de l'herbe et d'autres végétaux disponibles sur le pâturage, réduisant ainsi le besoin de compléments alimentaires.
- Impact environnemental : Cette méthode favorise la régénération des sols et la biodiversité végétale et animale. Elle contribue également à la séquestration du carbone dans le sol grâce à la croissance continue des plantes.
- Biodiversité : Les pâturages extensifs favorisent une plus grande diversité d'espèces végétales et animales, ce qui est bénéfique pour l'écosystème global.

Synthèse

Installation photovoltaïque			
Postes	Type	Référence	Donnée 1
Modules PV	Biface monocristallin	Longi	615 W
Trackers solaires	mono axe - acier	Optimum trackers 2V41	65 kg/kWc
Onduleurs PV	Décentralisé	Huawei	330 kW
Cablage AC	nr	nr	10700 m
Cablage DC	nr	nr	480 000
Tranformateurs	nr	nr	24900 kW
Armoires électriques	métalliques	ABB 635*835*300mm	15 kg



Méthodologie

Périmètre de l'étude

Le périmètre de l'étude définit l'ensemble des postes d'émissions qui sont considérés dans le bilan d'émissions de GES. Au stade de projet, l'objectif est de prendre en compte les émissions significatives sur le cycle de vie du projet.

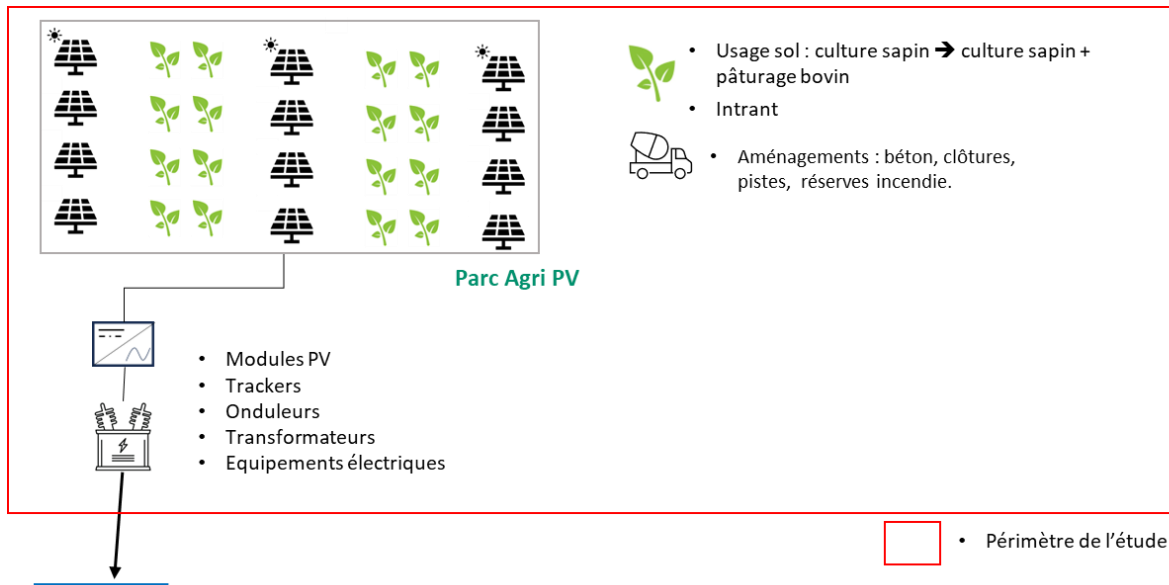


Figure 1 : Périmètre de l'étude

Le périmètre intègre l'ensemble des postes d'émissions significatifs :

- L'ensemble des immobilisations : installations photovoltaïques, installations électriques, équipements électriques, aménagements du site.
- Les émissions directes liées au changement d'affectation du sol.

Le périmètre n'intègre pas les principaux postes d'émissions suivants :

- Emissions directes et indirectes liées aux travaux du projet (données non consolidées).
- Les émissions indirectes liées aux équipements (achats, immobilisations) ne sont pas exhaustives.
- Les émissions liées à la maintenance de la centrale agrivoltaïque.

Méthode utilisée

Le bilan d'émissions de GES prend en compte les SCOPES 1, 2 et 3 à savoir les émissions directes, les émissions indirectes liées à l'énergie et les autres émissions indirectes (achat, intrant, immobilisations...)

→ SYNOPS se base sur la méthodologie Bilan Carbone® ainsi que sur une méthodologie d'évaluation des émissions de GES liées aux projets énergétiques.

L'empreinte carbone des équipements envisagés n'est pas systématiquement (rarement) connue étant au stade de projet et les fournisseurs n'ayant pas tous réalisés d'étude ACV pour leurs produits / de bilan carbone de leur activité. Pour combler ce point des ratios basé sur des unités de grandeurs (masse, volume...) des équipements et des matériaux utilisés ont été utilisés. Tout comme pour les hypothèses retenues dans les données techniques, ces hypothèses et extrapolations présentent une marge d'erreur significative à considérer.

Facteurs d'émissions

Les facteurs d'émissions sont principalement issus de la Base Empreinte® (ADEME) et de la Base INIES. Le facteur d'émissions des modules photovoltaïques provient de l'évaluation carbone simplifiée réalisée par le fournisseur auprès d'un organisme agréé.

Poste	FE	unité	Source
Modules PV		450 kgCO2e/kWc	ECS - Certisolis - Longi (module équivalent)
Alluminium/neuf		7800 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Alluminium/récyclé		562 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Aluminium, profilé extrudé		2,46 kgCO2e/kg	Base Empreinte - ADEME
Acier ou fer blanc/recyclé		938 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Acier ou fer blanc/neuf		2210 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Onduleurs photovoltaïque		27,3 kgCO2e/20 kW	SMA - ACV Sunny Hypower (extrapolation)
Câble de liaison pour courants forts [4 à 5 conducteurs (4G à 2 Câble DC : 4mm ² 2G (sortie / entrée modules)	16,7492	kgCO2e/m	Base INIES
Tableau Electrique		0,34 kgCO2e/m	Base Empreinte - ADEME (calcul Synops matière)
Machine industrielle		680 kgCO2e/appareil	Base Empreinte - ADEME
Béton (CEM II C25/30)		5,5 kgCO2e/kg	Base Empreinte - ADEME
Granulats/sortie carrière		210 kgCO2e/m3	IFPEB
Thermofusible polyester pour l'industrie textile, GLO		4 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Plastique/PVC/neuf		4,45 kgCO2e/kg	Base Empreinte - ADEME
Gazole non routier		1870 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Gazole non routier		3,16 kgCO2e/litre	Base Empreinte - ADEME
Gazole routier - B7		3,22 kgCO2e/kWh pci	Base Empreinte - ADEME
Galvanisation de tôle d'acier, GLO		3,1 kgCO2e/litre	Base Empreinte - ADEME
Ammonitrate/0,335		0,397 kgCO2e/kg	Base Empreinte - ADEME
Acide phosphorique		3790 kgCO2e/tonne de N	Base Empreinte - ADEME
Nitrate de potasse/44% K2O + 14% N		1420 kgCO2e/tonne	Base Empreinte - ADEME
Electricité - mix moyen consommation, France - 2022		2610 kgCO2e/tonne K2O	Base Empreinte - ADEME
Electricité - mix moyen production France - 2023		0,052 kgCO2e/kWh	Base Empreinte - ADEME
Changement affectation des sols direct - culture vers prairie		0,032 kgCO2e/kWh	RTE - France
		-1000 kgCO2e/ha.an	Base Empreinte - ADEME

Figure 2 : facteurs d'émissions utilisés

- Facteur d'émission « armoire électrique » :
 - Construction du facteur d'émission en kgCO2e/unité à partir du facteur d'émission de l'acier, matériau principal de l'armoire électrique.
 - Par hypothèse : 1 armoire (dimensions 635*835*300mm) = 15 kg d'acier.
 - Facteur d'émission « armoire électrique » = 33,15 kgCO2e/unité.
- Facteur d'émission « container 20 pieds » :



- Construction du facteur d'émission en kgCO₂e/unité à partir du facteur d'émission de l'acier galvanisé, matériau principal du conteneur.
- Par hypothèse : 1 conteneur (dimensions 6058*2896*2438mm) = 2200 kg d'acier galvanisé.
- → Facteur d'émission « container 20 pieds » = 5735 kgCO₂e/unité.
- Facteur d'émission « transformateur électrique » :
 - Construction du facteur d'émission en kgCO₂e/unité à partir du facteur d'émission de l'aluminium, matériau principal du transformateur.
 - Par hypothèse : 1 transformateur (2500 kW -2750 kW) = 5250 kg d'aluminium.
 - Facteur d'émission « transformateur » = 40950 kgCO₂e/unité.
- Facteur d'émission « tracker » :
 - Construction du facteur d'émission en kgCO₂e/kWc à partir du facteur d'émission de l'acier, matériau principal du tracker solaire.
 - Par hypothèse, le poids du tracker est de 60 kg/kWc d'acier.
 - Facteur d'émission tracker : 132.6 kgCO₂e/kWc.
- Facteur d'émission « réservoir incendie »
 - Construction du facteur d'émission en kgCO₂e/total réserves à partir des facteurs d'émissions du polyester et PVC, matériaux principaux composant des réserves.
 - Par hypothèse, une réserve est composée de 90 % de polyester et de 10 % de fils PVC. Le poids total des réserves est de 578 kg.
 - Facteur d'émission réserves d'eau : 2423 kgCO₂e/total.

Changement d'affectation des sols

Une estimation de l'impact du changement d'affectation des sols a été réalisée dans l'étude (poste UTCF). Pour réaliser cette estimation les données suivantes issues de l'étude APS ont été utilisées :

Emprises foncière		
Emprise totale	441 000	m ²
Emprise foncière modules	126 556	m ²
Emprise foncière voirie	32 645	m ²
Emprise foncière - autres (postes, plateformes, aménagement)	371	m ²
Surface agricole exploitée	421 500	m ²

Ainsi sur les 44,1 ha d'emprise totale du projet historiquement cultivé, 3,3 ha sont considérés comme artificialisés (ne représentent pas de potentiel puits carbone) : voiries, plateformes, espace perdues... **Par conséquent les 42,2 ha restants sont considérés comme passés d'une culture de sapin à une surface pour bovin.** Cette valeur sera retenue pour l'évaluation du bilan GES lié au changement d'affectation des sols.

Les émissions liées à la culture du fourrage sont évaluées sur un autre poste.

Bilan d'émissions GES

Bilan GES global

Poste d'émissions	Données retenues	Détails	Emissions GES	SCOPES
Production d'énergie	Modules PV	28814	12 966 300 kgCO2e	3
	Trackers solaires	65	4 139 131 kgCO2e	3
	Onduleurs PV	75	2 429 926 kgCO2e	3
	Cablage AC	10700	179 216 kgCO2e	3
	Cablage DC	480000	164 645 kgCO2e	3
	Transformateurs	1	40 950 kgCO2e	3
	Armoires électriques	75	2 486 kgCO2e	3
	Autre - préciser		kgCO2e	3
Aménagement site	Coture	5248	21 152 kgCO2e	3
	Béton préfa	1	40 950 kgCO2e	3
	Plateformes béton	0	- kgCO2e	3
	Réserve incendie	1	2 423 kgCO2e	3
	Piste / voirie lourde	10967	72 766 kgCO2e	3
	Voirie légère		kgCO2e	3
Activité agricole	Consommation de GNR	0	- kgCO2e	1
	Consommation intrant d'engrais historique	13	- 39 293 kgCO2e	1
Changement d'affectation des sols UTCF - Culture sapin vers paturage		421500	- 75 870 kgCO2e	1
Changement d'affectation des sols UTCF - Culture sapin vers sols non imperm		32645	- kgCO2e	1
Changement d'affectation des sols UTCF - Culture sapin vers Imperméabilisa		371	7 049 kgCO2e	1
Travaux			kgCO2e	1

Approche Bilan GES	Total émissions GES	19 951 831 kgCO2e
	Total émissions GES	19 952 tCO2e
	Emissions GES amorties annuellement	499 tCO2e/an
	Emissions GES rapportées à la production électrique	0,0142 kgCO2e/kWh
Approche Empreinte carbone	Total émissions GES	20 020 652 kgCO2e
	Total émissions GES	20 021 tCO2e
	Emissions GES amorties annuellement	501 tCO2e/an
	Emissions GES rapportées à la production électrique	0,0142 kgCO2e/kWh

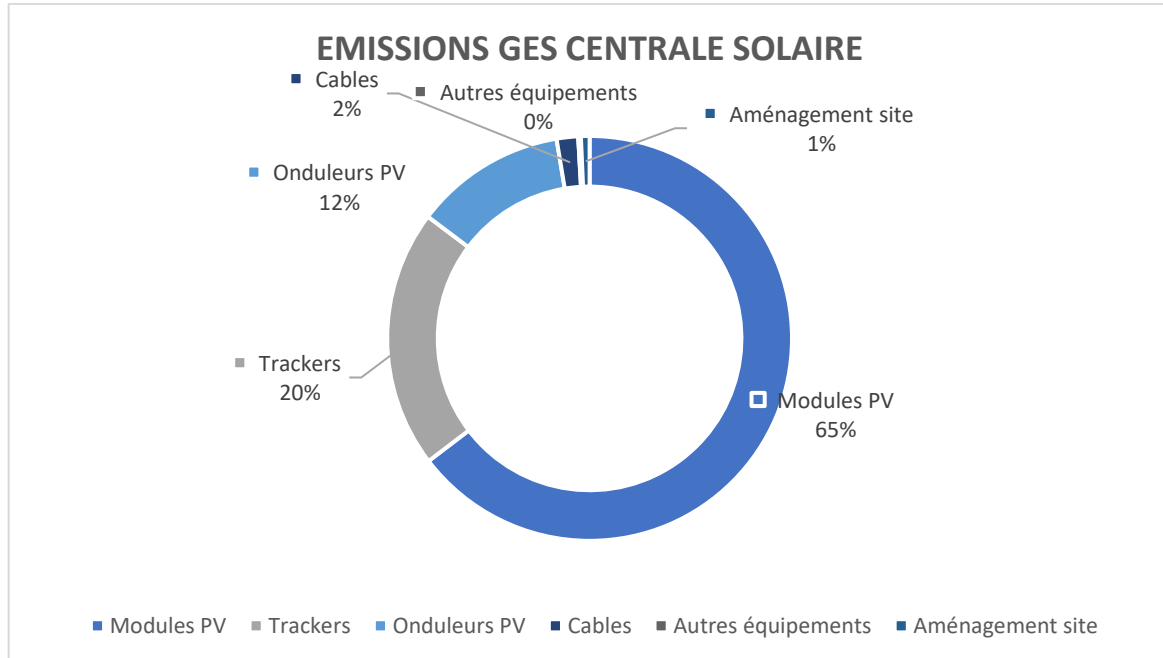
- Dans l'approche bilan GES (comptabilité des émissions GES engendrées par le projet ainsi que les émissions évitées par celui-ci) le total des émissions de GES est de 19 952 tonnes de CO2e soit 499 tonnes de CO2e/an pour une durée de vie de 40 ans.
 - Ce bilan GES permet d'estimer le facteur d'émission de la production électrique du projet en le rapportant au productible global : 0,0142 kgCO2e/kWh.
- Dans l'approche empreinte carbone, seules les émissions engendrées par le projet sont comptabilisées. Le total des émissions de GES est d'environ 20 021 tonnes de CO2e soit 501 tonnes de CO2e/an pour une durée de vie de 40 ans.
 - Ce bilan GES permet d'estimer le facteur d'émission de la production électrique du projet en le rapportant au productible global : 0,0142 kgCO2e/kWh.
- Pour rappel le facteur d'émissions du mix moyen consommé en France en 2022 est de 0.052 kgCO2e/kWh (ADEME), le facteur d'émission de l'électricité produite en France en 2023 est de 0.032 kgCO2e/kWh (RTE) et le facteur d'émissions de l'électricité photovoltaïque en France est de 0.0252 kgCO2e/kWh (ADEME).

➔ Etant donné la marge d'incertitude il est possible d'affirmer que le projet permet une production d'électricité renouvelable faiblement carbonée à hauteur voire légèrement moins carbonée que la production photovoltaïque moyenne nationale.



- Les émissions de GES liées aux travaux et au démantèlement ne sont pas intégrées à cette étude. Ces émissions sont estimées à +1 % à +2% d'émissions de GES sur le bilan global du projet sur sa durée de vie.

Bilan GES centrale PV



L'immobilisation des modules, trackers et onduleurs est responsable de 97 % des émissions de GES de la plateforme.

Le sourcing de ces équipements aura une importance clé dans les émissions GES associées au projet : équipements produits en France/Europe à partir d'un mix énergétique faiblement carboné, rationalisation de l'utilisation de matériaux, utilisation de matériau recyclés (aciers, aluminium...)