 <p>urbasolar urba 128 75 allée Wilhelm Roetgen – CS 40935 34961 Montpellier</p>	<p>Note complémentaire à l'étude d'impact du projet de complexe photovoltaïque sur la commune de Rion-des-Landes, lieudit Nabout</p>
<p>BILAN ENERGETIQUE ET CARBONE</p>	
<p>Rev 1.0 du 12 Janvier 2016</p>	<p>Version initiale</p>
<p>Rev 2.0 du 16 Janvier 2016</p>	<p>Mise à jour des masses libérées par le défrichement</p>

1) Préambule

Depuis la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques adoptée le 9 mai 1992 et le Protocole de Kyoto conclu en 1997, les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont clairement identifiées comme directement responsables du réchauffement climatique. De ce contexte international aux avancées timides, la France a pris l'engagement de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050.

Toute activité humaine engendre directement ou indirectement une dépense énergétique et des émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables, dont le photovoltaïque, sont aujourd'hui en pleine expansion. L'énergie photovoltaïque, énergie inépuisable, répond aux contraintes actuelles et participe à l'atténuation de la dérive de l'effet de serre, essentiellement dû à l'utilisation d'énergie fossile. Rappelons que pendant la phase d'utilisation des panneaux solaires, l'énergie produite est une énergie verte sans aucun rejet de CO². Cependant du CO² est « dégagé » lors de la fabrication des différents composants et de l'installation du système. C'est dans ce contexte que l'établissement d'un bilan carbone d'un projet photovoltaïque s'avère important pour légitimer le développement de cette source d'énergie.

Il est à noter qu'URBASOLAR dans le cadre de son engagement pour une construction respectueuse de l'environnement met en œuvre une sélection rigoureuse de matériaux et méthodologies de construction qui tendent vers un plus faible impact environnemental possible y compris en terme de quantité d'émission de gaz à effet de serre.

2) Méthodologie

Dans le cadre de l'appel à projet pour le financement, la construction et l'exploitation d'une centrale photovoltaïque sur la commune de Rion-des-Landes mais également dans tous ses projets, URBASOLAR réalise une analyse carbone qui s'appuie sur trois phases :

- Calcul du bilan d'émissions de gaz à effet de serre simplifiée à l'aide de la méthodologie Bilan Carbone® mis en place par l'ADEME ;
- Evaluation carbone simplifiée du module solaire utilisé dans le projet à partir des prescriptions techniques contenues dans l'annexe du 3^{ème} appel d'offres de la Commission de Régulation de l'Energie pour les projets photovoltaïques supérieur à 250 KW ;
- Calcul de la dette carbone due à l'opération de défrichement selon la matrice établie par l'INRA

Description de la méthode Bilan Carbone®

La méthode Bilan Carbone® permet l'évaluation des émissions en gaz à effet de serre générées directement ou indirectement par l'activité étudiée. Elle s'appuie sur les flux physiques (flux de personnes, objets, énergie, de matières premières...) et leur fait correspondre les émissions de gaz à effets de serre qu'ils engendrent en les agrégeant par poste.

L'estimation d'émissions de gaz à effet de serre est obtenue par le calcul, à partir de données présentes ou facilement calculables au sein des entreprises. Les chiffres qui permettent de convertir les données observables dans l'entité en émissions de gaz à effet de serre, exprimés en équivalent carbone, sont appelés des facteurs d'émission.

Comme précisé dans le guide méthodologique de l'ADEME :

« Comme l'essentiel de la démarche est basé sur des facteurs d'émissions moyens, cette méthode a pour vocation première de **fournir des ordres de grandeur**. Cela n'empêchera pas, cependant d'en tirer des conclusions pratiques car bien souvent, quelques postes faciles à estimer seront prépondérants dans le total des émissions ».

Elle permet de prendre en compte les émissions liées à l'utilisation de l'énergie et procédés, mais également les émissions liées à l'acheminement des produits sur site, des personnes, aux enlèvements de déchets et des produits finis. Elle intègre également les émissions liées à la fabrication des bâtiments, les biens immobilisés et les émissions liés aux activités tertiaires au sein d'une entreprise.

Les gaz à effet de serre retenus pour le bilan sont :

- Le dioxyde de carbone (CO₂) ;
- Le méthane (CH₄) ;
- L'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) ;
- Les hydrofluorocarbures (CnHmFp) ;
- Les perfluorocarbures (CnF₂N+2) ;
- L'hexafluorure de soufre (SF₆).

Le rejet dans l'atmosphère d'un kilogramme de gaz à effet de serre n'a pas le même impact quel que soit le gaz. En effet, chaque gaz possède un « pouvoir de réchauffement global » (PRG) qui lui est propre et qui permet d'évaluer son « impact sur le climat ». Par convention, le PRG du CO₂ vaut toujours 1. La méthode du bilan carbone est basée sur le PRG à 100 ans des différents gaz.

Gaz	PRG relatif à 100 ans
Dioxyde de carbone	1
Méthane	23
Protoxyde d'azote	296
Hydrofluorocarbures	12 à 12000
Perfluorocarbures	5700 à 11900
Hexafluorure de soufre	4600 à 14000

PRG des gaz à effet de serre étudiés

Le Bilan Carbone a été effectué selon la méthode Bilan Carbone® simplifié préconisé par l'ADEME. Il a été réalisé d'après les données suivantes :

- Les données du projet : surface, puissance, phasage des travaux, techniques employés, lieu de production des matériaux et matériels, trajets...
- Le retour d'expérience d'URBASOLAR issu de la construction de ses centrales photovoltaïques au sol en France, soit 51 MWc.

Description de la méthode de l'évaluation carbone des modules photovoltaïques

(Extrait du Cahier des Charges du 3^{ème} appel d'offres national portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire d'une puissance supérieur à 250 kWc)

Hypothèses et périmètre d'évaluation de la méthode d'évaluation carbone simplifiée

L'évaluation carbone simplifiée de la centrale photovoltaïque se fonde uniquement sur l'évaluation carbone simplifiée du laminé photovoltaïque (module photovoltaïque sans cadre). Les émissions de gaz à effet de serre liées aux autres composants de la centrale ne sont pas considérées.

Par souci de simplicité et de traçabilité, seules les étapes de fabrication suivantes sont prises en compte pour l'évaluation carbone simplifiée du module :

Filière silicium cristallin :

- Fabrication du polysilicium ;
- Fabrication du lingot ;
- Fabrication de la plaquette (wafer) ;
- Fabrication de la cellule ;
- Fabrication du module ;
- Fabrication du verre et du verre trempé ;
- Fabrication de l'EVA, du PET et du PVF.

Filière couche mince :

- Fabrication du module ;
- Fabrication du verre et du verre trempé ;
- Fabrication de l'EVA, du PET et du PVF.

Les émissions de gaz à effet de serre provenant des autres étapes du cycle de vie du module ne sont pas considérées (transport, installation, utilisation, fin de vie). On se limite donc à l'évaluation des émissions de GES liées à la production du module, aux équipements de procédés, aux bâtiments et utilités (hors administratif et R&D). L'énergie grise, c'est-à-dire l'énergie nécessaire à la fabrication, des équipements bâtiments et utilités est prise en compte dans le calcul des émissions de gaz à effet de serre.

Formule de calcul utilisée

L'évaluation carbone simplifiée des modules utilisés pour la centrale photovoltaïque se base sur la formule 1 suivante :

Formule 1

$$G = \sum_{i \text{ composants du module}} G_i$$

Formule dans laquelle :

• G, [kg eq CO₂/kWc], représente la quantité de gaz à effet de serre émise lors de la fabrication d'un kilowatt crête de module photovoltaïque.

G s'obtient par l'addition des G_i, qui représentent les valeurs d'émissions de gaz à effet de serre de chaque composant i du module photovoltaïque rapportées à un kilowatt crête de puissance. G_i s'exprime dans la même unité que G. Chaque G_i s'obtient par la formule 2.

Formule 2

$$G_i [\text{kg eq CO}_2/\text{kWc}] = \sum_j (GWP_{ij} * X_{ij}) * Q_i$$

Formule dans laquelle :

• Q_i représente la quantité du composant i (déterminée à l'étape 1) nécessaire à la fabrication d'un kWc de module ou film photovoltaïque.

• x_{ij}, sans unité, représente la fraction de répartition (déterminée dans l'étape 2) des sites j de fabrication du composant i. Ce coefficient est moyenné sur une année d'approvisionnement.

• GWP_{ij} unitaire, exprimé en kilogramme équivalent CO₂ par unité de quantification du composant, représente l'émission spécifique de CO₂eq associée à la fabrication du composant i par unité de quantification du composant (par exemple le m² pour le module) dans le site de fabrication j (déterminée dans l'étape 3) (GWP = Global Warming Potential).

Description de la méthode du calcul de la dette carbone de l'opération de défrichement

La méthode utilisée par l'outil et présentée dans le présent document permet d'évaluer, en ordre de grandeur, les émissions de CO₂ captées par une surface boisée. Cette méthode est basée sur la matrice de l'INRA.

Cette méthode est basée sur le principe de séquestration carbone de la biomasse. La photosynthèse, qui est activée par le rayonnement solaire, permet à une plante de capter le CO₂ de l'atmosphère afin de synthétiser des glucides. Le contenu carbone dans la biomasse est réparti dans quatre parties de l'arbre :

- La strate arborée ;
- La strate herbacée ;
- Le sol

Le projet prenant place sur un ancien terrain sylvicole dédié à la culture du pin maritime, la matrice de l'INRA prévoit d'établir une distinction entre la masse de biomasse par hectare entre les zones de lande sèche et celles de lande humide. La répartition des masses de CO₂ stockées par type de compartiment dans la matrice de l'INRA est comme suit :

compartiment	nature du stockage	masse (t/ha) lande HUMIDE	masse (t/ha) lande SECHE
strate arborée	biomasse des Pins	216 à 256	180 à 216
strate herbacée	Molinie	13 à 18	13 à 18
sol	humus	110 à 143	73 à 110
	horizons minéraux	290 à 366	220 à 290

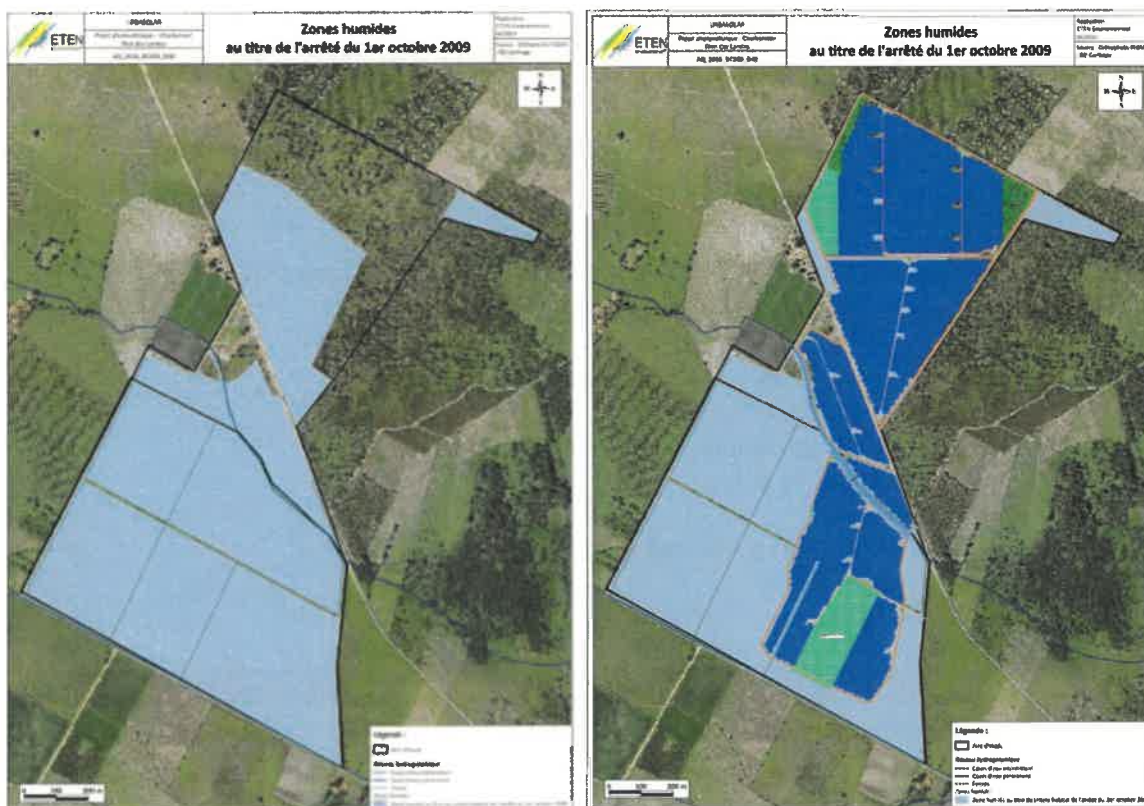
D'autre part, la masse de CO₂ stockée par la forêt de pins maritimes selon la matrice de l'INRA est comme suit :

origine	Lande HUMIDE	Lande SECHE
photosynthèse	13 t/ha/an	7 t/ha/an

Suite à l'état initial réalisé en 2016 par le bureau d'étude ETEN Environnement, le projet prend place sur **47.41 ha** de Lande Humide et **23.79 ha** de Lande Sèche :

	Surface projet	Emprise sur Lande humide	Emprise sur lande sèche
Tranche 1	25	17,28	7,72
Tranche 2	21,74	6,51	15,23
Tranche 3	24,46	0	24,46
TOTAL	71,2 ha	23,79 ha	47,41 ha

Récapitulatif des surfaces projets et des impacts ZH



Identification des zone d'habitat de type Lande humide et implantation du projet photovoltaïque

3) Résultats énergétiques des projets de centrales photovoltaïques sur la commune de RION-DES-LANDES

L'installation des 3 centrales photovoltaïques sur la commune de RION-DES-LANDES assurera la production de **55 131,8 MWh / an** soit une électricité propre pour environ 27 400 habitants.

Caractéristique du parc solaire	Puissance (MWc)	48,15
	Surface (Ha)	71,46
Production électrique	Production annuelle attendue (MWh)	55 131,8
	Equivalence nombre de foyers en consommation annuelle (*)	11 575

(*) La consommation moyenne pour un foyer français est de 4 763 kWh selon les statistiques 2015 de la CRE

4) Résultats de l’empreinte carbone globale du projet de centrale photovoltaïque sur la commune de RION-DES-LANDES

Le bilan carbone a été calculé sur le cycle de vie de la centrale photovoltaïque. Afin de calculer l’ensemble des émissions liées au projet photovoltaïque au sol, nous avons segmenté le projet en 9 phases :

→ Fabrication des modules

	Emissions en t Eq-CO ² / MWc
Fabrication des modules	431,5

Modules issus de nos usines Française SILLIA VL

→ Fabrication des autres composants

Le bilan doit nécessairement prendre en compte les émissions de GES liées à la fabrication des matériaux autres que les modules pour chaque centrale au sol :

- Les supports en aluminium ou en acier galvanisé ;
- Le bois des traverses des structures ;
- Les pieux bétons des fondations des structures acier ;
- Les locaux techniques en béton ;
- Le câblage électrique ;
- Les appareils électriques et électroniques
- La clôture et les portails
- Les fournitures diverses.

Matériaux	Emissions GES
Acier galvanisé structures	155 kg Eq-CO ² /kWc
Aluminium structures	240kg Eq-CO ² /kWc
Bois structures	0
Béton fondation structures	10 kg Eq-CO ² /kWc
Béton locaux technique	10 kg Eq-CO ² /kWc
Onduleurs, câblage, monitoring, transformateur	100 kg Eq-CO ² /kWc
Clôture, portail, fournitures diverses	70 kg Eq-CO ² /kWc
Total	575 tonnes Eq-CO² par kWc

→ Transport

Selon les matériaux et la situation des projets de centrales, les éléments seront acheminés par voie maritime et par transports routiers (poids lourds).

FRET	Emissions liées aux transports des matériaux pour les chantiers	
	Routier (t Eq-CO ² /MWc)	Maritime(t Eq-CO ² /MWc)
Projet	20	4

→ Chantier

Les principales émissions liées aux chantiers sont liées :

- Aux consommations de carburants sur le chantier (59 t Eq CO²/MWc) ;
- Aux déplacements des salariés (7 t Eq CO²/MWc) ;
- Aux prestations de services associés (1 t Eq CO²/MWc) ;
- A la production de déchets (13 t Eq CO²/MWc) ;
- Aux immobilisations (3 t Eq CO²/MWc) ;
- Autres (11 t Eq CO²/MWc) .

Postes	Emissions GES
Chantier	94 t Eq-CO ² /MWc

→ Défrichement

Le défrichement aura également un impact sur le bilan des émissions de GES du projet, que ce soit par les émissions induites par l'opération de défrichement que par le CO₂ qui ne sera pas stocké par la forêt pendant la durée d'exploitation de la centrale. Le boisement compensateur qui sera mis en place dans le cadre de l'autorisation de défrichement n'est pas inclus dans le Bilan carbone.

Masse de CO₂ libérée par le défrichement de la partie lande humide du terrain (40.35 ha) (source : INRA Bordeaux Unité EPHYSE) :

compartiment	nature du stockage	masse (t/ha)	masse totale (47.41 ha) (t)
strate arborée	biomasse des Pins	216 à 256	687,11
strate herbacée	Molinie	13 à 18	616,33
sol	humus	110 à 143	5 215,10
	horizons minéraux	290 à 366	13 748,90
total écosystème			20 267

Note : Pour la strate arborée, la zone de projet est en coupe rase avec quelques reprise naturelle sur l'essentiel de la zone sauf sur 7,72 ha actuellement plantés de pins de 9 ans et présentant une densité d'environ 65%. On considère que 100T CO₂ sont stockées dans les reprises naturelles, et 587.1 Tonnes dans la zones de jeunes pins.

Masse de CO₂ non stockée par la forêt de Pin maritime sur la partie lande humide (40.35 ha) (source : INRA Bordeaux Unité EPHYSE) :

origine		période 25 ans	masse totale (47.41 ha) (t)
photosynthèse	13 t/ha/an	325 t/ha	15 408

Masse de CO₂ libérée par le défrichement de la partie lande sèche du terrain (30.11 ha) (source : INRA Bordeaux Unité EPHYSE) :

compartiment	nature du stockage	masse (t/ha)	masse totale (23.79 ha) (t)
strate arborée	biomasse des Pins	180 à 216	0
strate herbacée	Molinie, Bruyère	13 à 18	309,27
sol	humus	73 à 110	1 736,67
	horizons minéraux	220 à 290	5 233,80
total écosystème			7 280

Note : toutes les parcelles de type habitat lande sèche sont en coupe rase à l'état de friche forestière

Masse de CO₂ non stockée par la forêt de Pin maritime sur la partie lande sèche (30.11 ha) (source : INRA Bordeaux Unité EPHYSE) :

origine		période 25 ans	masse totale (23.79) ha) (t)
photosynthèse	7 t/ha/an	175 t/ha	4 163

BILAN du CO₂ généré par le défrichement et non stocké par la forêt de pins :

CO ₂ libéré par le défrichement de la zone humide	20 267
CO ₂ libéré par le défrichement de la zone sèche	7 280
CO ₂ non stocké par la zone humide pendant 25 ans	15 408
CO ₂ non stocké par la zone sèche pendant 25 ans	4 163
TOTAL du CO₂ libéré par le défrichement et non stocké par la forêt sur 25 ans (T CO₂)	47 119

→ Entretien et maintenance

Pendant l'exploitation de la centrale, des émissions seront générées provenant des postes suivants :

- Les déplacements des salariés pour l'entretien du site ;
- Les services associés (nettoyage, fauchage, maintenance électrique).

Postes	Emissions GES
Déplacements	0,643
Services associés	1,502
Emissions	2,145 kg Eq-CO₂/MWc/an

→ Démantèlement

Les émissions d'un chantier de démantèlement dépendent de l'objectif de réhabilitation du site. A l'issue de l'exploitation, il peut être décidé :

- De prolonger l'exploitation photovoltaïque ;
- De démanteler l'installation pour un usage sylvicole.

Si nous prenons le cas de figure n°2, le bilan des activités induites par le chantier de démantèlement serait de 47 t Eq-CO₂/MWc.

Postes	Emissions GES
Démantèlement	47 t Eq-CO ₂ /MWc

→ Recyclage des matériaux

Les matériaux constitutifs d'une centrale photovoltaïque au sol ne suivront pas la même filière d'élimination/traitement en fonction de leur nature, de leur état après 25 ans de fonctionnement et de la situation géographique de la centrale.

Le recyclage des matériaux émet des GES mais permet surtout de générer des « crédits CO₂ » par la mise à disposition de matériaux recyclés. Ce gain est particulièrement important pour l'aluminium dont la fabrication en première génération est très émettrice de GES.

Dans notre approche, nous considérons que le recyclage des modules, onduleurs, transformateurs présente un bilan nul (les émissions liées aux opérations de recyclage sont compensées par le gain en matériaux recyclés).

Pour le béton, nous considérons qu'à l'issue du chantier de démantèlement la totalité des déchets retirés du sol sont mis en installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND). Cependant, les déchets peuvent aussi être recyclés en granulats pour de futurs chantiers.

Enfin nous considérons que 80% de l'acier et de l'aluminium sont recyclés. Le recyclage de ces matériaux est largement positif et permet une « économie » de CO₂ de l'ordre de 240 kg Eq-CO₂/kWc.

Postes	Emissions GES
Recyclage des matériaux	- 240 t Eq-CO ₂ /MWc

1) BILAN DES EMISSIONS

Données du projet	
Production photovoltaïque annuelle en MWh/an	55 131,8
Durée (en année)	25
Puissance en MWc	48,15

Bilan des EMISSIONS de CO ₂ par le projet		
Phase	Emissions en t Eq-CO ₂ / MWc	Emissions en t Eq-CO ₂ pour le projet Rion-Nabouf de 48.15 MWc
Fabrication des modules	431,5	20 776,73
Fabrication des autres composants	575	27 686,25
Transport	24	1 155,60
Chantier	94	4 526,10
Défrichage hors masse non stockée	572	27 547,00
Entretien et maintenance	2,145	2 582,04
Démantèlement	47	2 263,05
Recyclage des matériaux	-240	-11 556,00
Bilan des émissions de CO₂ du projet sur 25 ans en t Eq-CO₂	1 505,75	74 980,77

La vie de la centrale photovoltaïque de Rion-des-Landes (sur 25 ans d'exploitation) génère l'émission de 74 980,77 tonnes d'équivalents CO₂, soit 1 505,75 T Eq-CO₂ par MWc installé.

Bilan des ECONOMIES de CO2 par la production d'énergie renouvelable		
Puissance cumulées des 3 tranches de projet de RION-DES-LANDES	48,15	MWc
Simulation de productible	1145	kWh / kWc
Production solaire	55 131,8	MWh/an
Emissions de GES par kWh produit en France	85	g EqCO ₂ /kWh
Emissions de GES par kWh produit en Europe	306	g EqCO ₂ /kWh
GES émis (en kg) par le projet rapporté à la production sur 25 ans	0,054	kg EqCO ₂ /kWh
GES émis (en g) par le projet rapporté à la production sur 25 ans	54,40	g EqCO₂ /kWh
Economie de CO2 par an par kWh (par rapport au mix énergétique Français)	30,60	g EqCO ₂ /kWh
Economie de CO2 par an par kWh (par rapport au mix énergétique Européen)	251,60	g EqCO ₂ /kWh
Economie de CO2 par an totale (par rapport au mix énergétique Français)	1 686,97	Tonnes EqCO ₂
Economie de CO2 par an totale (par rapport au mix énergétique Européen)	13 871,08	Tonnes EqCO ₂
Economie de CO2 sur 25 ans (par rapport au mix énergétique Français)	42 174,20	Tonnes EqCO₂
Economie de CO2 sur 25 ans (par rapport au mix énergétique Européen)	346 777,12	Tonnes EqCO₂

Le mix énergétique Français étant basé à 77% sur l'énergie nucléaire, un projet d'énergie renouvelable participe plus à la réduction de la dépendance à ce type d'énergie qu'à une réduction massive des émissions de carbone. Par contre le mix Européen étant essentiellement basé sur les énergies thermiques (principalement gaz et charbon) les économies d'émission de Carbone sont bien plus significatives si l'on se compare à ce modèle.

2) COMPARATIF DES EMISSIONS ECONOMISEES PAR LE PROJET PHOTOVOLTAÏQUE PAR RAPPORT A L'ANCIENNE ACTIVITE SYLVICOLE

L'ancienne vocation sylvicole du site visait à produire du bois de pin maritime, et le fonctionnement de l'écosystème forestier participait au stockage du CO2 atmosphérique. La nouvelle vocation du terrain étant la production d'énergie renouvelable de source photovoltaïque, il convient de comparer les quantités de CO2 évités ou stockées dans les 2 cas.

Note : Le boisement compensateur qui sera mis en place dans le cadre de l'autorisation de défrichement n'est pas inclus dans le bilan.

Bilan des économies de CO₂ hors prise en compte du défrichement :

Economie de CO ₂ sur 25 ans (par rapport au mix énergétique Français)	69 721,20	Tonnes EqCO ₂
Economie de CO ₂ sur 25 ans (par rapport au mix énergétique Européen)	374 324,12	Tonnes EqCO ₂

CO₂ origine écosystème forêt (Total du CO ₂ libéré par le défrichement et non stocké par la forêt de pins pendant 25 ans (en Tonnes))	49 119
CO₂ origine photovoltaïque (Total des émissions de CO ₂ évitées par la centrale photovoltaïque par rapport au mix Français (en Tonnes))	69 721,20
CO₂ origine photovoltaïque (Total des émissions de CO ₂ évitées par la centrale photovoltaïque par rapport au mix Européen (en Tonnes))	374 324,12

Sans compter le boisement compensateur, le CO₂ origine forêt représente 70,45 % du CO₂ économisé par le projet photovoltaïque si l'on base le calcul sur le mix énergétique Française et 13,12% du CO₂ économisé si l'on se base sur le mix énergétique Européen.