



# **Evaluation de l'impact environnemental – Méthode ACV**

**Développement France**

**Centrale photovoltaïque de Wallers Lambrecht (59)**

**Octobre 2022**

## Table des matières

I.	INTRODUCTION .....	3
II.	EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU PROJET .....	5
1.	Précisions sur la méthode .....	5
a.	Origines et étapes de la méthode .....	5
b.	Périmètre de l'ACV .....	5
c.	Indicateurs d'ACV retenus .....	6
d.	Catégorie de produits du projet .....	6
2.	Evaluation environnementale du projet .....	6
a.	Caractéristiques du projet .....	6
b.	Etape 1, génération des facteurs d'impacts .....	8
c.	Etape 2, évaluation du productible .....	13
d.	Etape 3, impacts environnementaux rapportés à l'UF .....	14
III.	EVALUATION DES EMISSIONS CARBONE EVITEES .....	15
IV.	EVALUTION DU TEMPS DE RETOUR CARBONE DU PROJET .....	17
V.	PISTES D'AMELIORATION .....	19
	ANNEXES .....	20
	Annexe 1 : Fiche technique justifiant le taux de dégradation du module et la durée de certification .....	20
	Annexe 2 : Evaluation Carbone Simplifiée des modules .....	22
	Annexe 3 : Certificat PV Cycle .....	24

## I. INTRODUCTION

Face à l'urgence climatique et conformément à l'objectif de neutralité carbone en 2050 du Groupe EDF, le Groupe EDF Renouvelables travaille sur l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre de ses activités afin d'identifier des pistes de réduction pour atteindre cet objectif en cohérence avec la raison d'être du Groupe EDF.



A ce titre, et conformément aux attentes réglementaires en matière d'étude d'impact, une évaluation environnementale du projet photovoltaïque de Wallers Lambrecht a été réalisée suivant la méthode détaillée dans le « Référentiel d'évaluation des impacts environnementaux des systèmes photovoltaïques par la méthode d'analyse du cycle de vie » réalisé par Cycleco, ARMINES/MINES ParisTech et Transénergie à l'initiative de l'ADEME (parution en 2014).

### Précisions sur les résultats et leurs limites

Cette évaluation est issue d'une estimation réalisée à partir des éléments disponibles en phase de développement, c'est-à-dire en amont sur le projet, avant la sélection équipements définitifs.

EDF Renouvelables est aussi soumis à des règles particulières de mise en concurrence que n'ont pas les autres opérateurs privés. Il n'est donc pas possible de mettre en avant des équipements précis, ou présentant un bilan environnemental le plus favorable, même en étant les plus représentatifs de nos projets (processus de qualification et de sélection des prestataires reposant notamment sur des clauses et des engagements environnementaux et sociétaux contrôlés conformément à la Politique Environnementale et Sociétale d'EDF Renouvelables).

Les valeurs retenues pour l'évaluation sont donc volontairement conservatrices, donc défavorables (valeurs par défaut du référentiel datant de 2014 privilégiées, ou valeur plus récentes et disponibles dans les bases de données accessibles) ce qui pénalise objectivement les résultats de l'ACV du projet.

## II. EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DU PROJET

### 1. Précisions sur la méthode

#### a. Origines et étapes de la méthode



Conformément au « Référentiel d'évaluation des impacts environnementaux des systèmes photovoltaïques par la méthode d'analyse du cycle de vie », la réalisation de l'évaluation environnementale repose sur trois étapes et deux types de résultats :

- (1) les impacts environnementaux rapportés au productible évalué sur le site pressenti de l'installation ;
- (2) les impacts environnementaux dits de référence car rapportés au productible d'un site de référence représentatif d'une situation moyenne sur la zone géographique où se situe le projet (généralement en France métropolitaine).

Chaque étape est reprise et détaillée avec les hypothèses disponibles sur le projet lors de phase de réalisation de la présente évaluation. Dans le respect de la méthodologie, les valeurs conservatrices de la méthode ont été substituées par les valeurs propres aux équipements retenus sur le projet dans la mesure du possible, tout en restant conservatrices, afin de mieux correspondre à la réalité environnementale des composants du système PV du projet. Ces substitutions sont détaillées dans le rapport.

#### b. Périmètre de l'ACV

Les différentes étapes du cycle de vie du système PV sont incluses dans les frontières du système, à savoir :

- ✓ fabrication des composants du système PV,
- ✓ installation du système PV (dont défrichage et déboisement),
- ✓ utilisation, entretien et maintenance,
- ✓ désinstallation,
- ✓ traitement en fin de vie (recyclage, incinération et/ou enfouissement des matériaux composant le système PV).

L'infrastructure pour la fabrication des composants du système PV est incluse dans la frontière du système dans l'étape de fabrication. Les transports inclus dans ces étapes du cycle de vie sont également pris en compte.

A contrario, la méthode retenue de l'ADEME ne prend pas en compte certaines parties du cycle de vie, à savoir :

- ✓ les déplacements des employés (sauf pour la maintenance des installations),

- ✓ les activités d'administration, de vente, de distribution et de recherche et développement (R&D),
- ✓ les flux de matière et d'énergie engendrés par la ventilation, l'éclairage, les dispositifs de surveillance,
- ✓ les mesures de compensation carbone engagées par l'entreprise.

#### c. Indicateurs d'ACV retenus

Les indicateurs d'ACV retenus dans le référentiel PV et les méthodes de caractérisation correspondantes sont au nombre de 18 et sont détaillés en annexe. Ces indicateurs comportent des indicateurs d'impacts environnementaux et des indicateurs de flux d'énergie.

#### d. Catégorie de produits du projet

Le projet entre dans le cadre de la catégorie de produits **3.b** couvertes par le référentiel de l'ADEME.

Catégories de produits	Puissance $P_{max}$	Domaine de tension	Description de l'installation du système PV
Catégorie 1	Supérieur à 0 kVA et inférieur à 36 kVA	BT monophasé ou triphasé	Système intégré ou lié au bâtiment ou posé sur toiture
Catégorie 2.a	Strictement supérieur à 36 kVA et inférieur à 250 kVA	BT triphasé	Système intégré ou lié au bâtiment ou posé sur toiture
Catégorie 2.b			Système installé au sol
Catégorie 3.a	Strictement supérieur à 250 kVA	HTA	Système intégré ou lié au bâtiment ou posé sur toiture
Catégorie 3.b			Système installé au sol

## 2. Evaluation environnementale du projet

### a. Caractéristiques du projet

Le projet photovoltaïque au sol Wallers Lambrecht présente les caractéristiques suivantes :

Caractéristiques	Données
Durée de vie de l'installation (année)	30
Type de site	Ancien site minier
Puissance nominale de la centrale (MW)	4,52
Puissance crête de la centrale (kWc)	5 400
Productible annuel (en kWh)	5 700 000

Les caractéristiques des modules sont les suivantes :

Caractéristiques des modules	Données
Type de module	Mono Cristallin bifacial
Modèle	Jinko tiger Neo 570W ou équivalent
Type de technologie	Silicium mono-cristallin
Puissance crête (Wc)	570
Taux de dégradation du module certifié ?	OUI
Taux de dégradation certifié du module par an (%)	0,40%
Durée certifiée du taux de dégradation du module (années)	30 ans
Evaluation Carbone Simplifiée (kg éq CO <sub>2</sub> / kWc)	448,68

La fiche technique justifiant le taux de dégradation du module et la durée de certification est disponible en annexe 1. Le calcul de l'évaluation carbone simplifiée réalisée par le fabricant avec l'attestation de l'ADEME est disponible en annexe 2.

Les caractéristiques physiques de la centrale sont les suivantes :

Caractéristiques physiques	Données
Surface au sol occupée par la centrale (ha)	4,3
Longueur de clôture (m)	1083
Longueur de routes et pistes créées par le projet (km)	0 km route bitumée 0 km piste « lourde renforcée » 55cm prof. 0,062 km piste « lourde classique » 30cm prof. 1,026 km piste « légère » 05cm prof.
Nombre de modules (u) et dimensions d'un module (m)	9 963 modules Longueur 2,28 m ; largeur 1,13 m ; épaisseur à 0,03 m
Surface de modules (m <sup>2</sup> )	25 736,94
Type de shed	Fixe

Les caractéristiques liées aux autres équipements sont les suivantes :

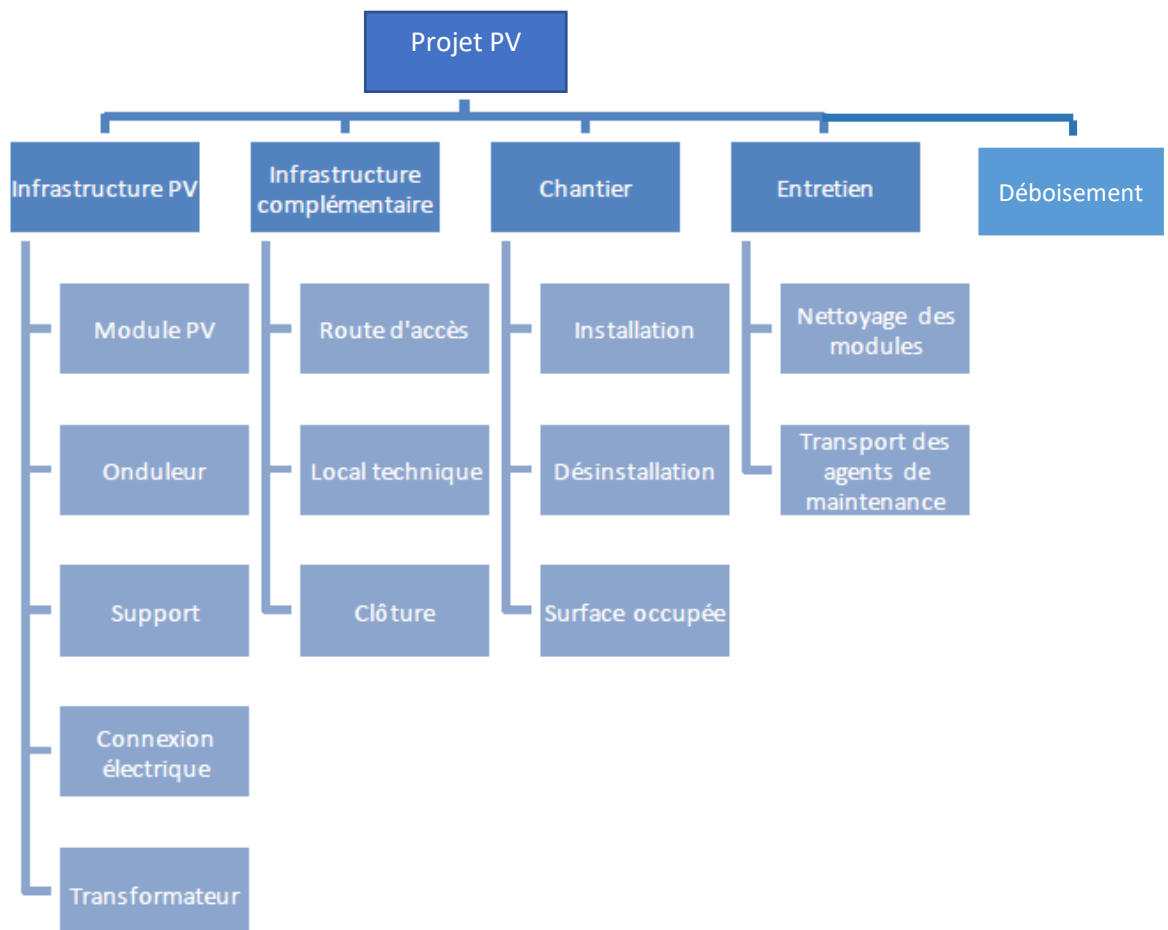
Autres caractéristiques	Données
Puissance totale onduleur (kVA)	4 515 (21 onduleurs x 215kVA)
Puissance totale transformateur (kVA)	4 500 (1 transformateur x 4 500 KVA)

b. Etape 1, génération des facteurs d'impacts

Cette première étape consiste à la **génération des facteurs d'impacts du projet**. Ces facteurs d'impact sont détaillés pour toutes les catégories d'impact obligatoires et sont calculés selon la procédure détaillées dans le référentiel. Ils permettent d'estimer les impacts environnementaux du système PV quel que soit son implantation.

Avec déboisement :

La granulométrie pour la prise en compte des impacts du projet est la suivante :



Conformément à la méthode, les informations précises sur les quantités de référence du projet ont été substituées sur le projet aux quantités de référence conservatrices lorsque cela était possible. Elles sont détaillées dans chaque sous-partie. Les facteurs d'impacts par défauts sont disponibles en annexe.



Il sera important de noter de le référentiel de l'ADEME ne comportant pas d'indications relatives au déboisement (défrichage et débroussaillage), EDF Renouvelables a réalisé une estimation en sus, qui est versée à la présente analyse.

### ✓ Evaluation des impacts liés aux infrastructures

La règle de calcul concernant la détermination des facteurs d'impacts et la suivante :

$$\text{Impact}_{\text{infrastructure}} =$$

$$\text{Impact}_{\text{Module PV}} + \text{Impact}_{\text{Onduleur}} + \text{Impact}_{\text{Transformateur}} + \text{Impact}_{\text{support}} + \text{Impact}_{\text{connexion électrique}}$$

Les données retenues sont le projet sont les suivantes :

Impact	Projet
<b>Impact</b> <sub>Module PV</sub>	Données ECS certifiée : 448,68 kg CO <sub>2</sub> eq/kWc, à laquelle s'ajoute une majoration qui intègre l'évaluation des facteurs d'impacts des éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Approvisionnement en câbles des boîte(s) de jonction ;</li> <li>✓ Approvisionnement en cadre ;</li> <li>✓ Fabrication du cadre aluminium et du câble de la boîte de jonction.</li> </ul>
<b>Impact</b> <sub>Onduleur</sub>	Facteur d'Impact de référence conservé, (127,75 kg éq CO <sub>2</sub> /kVA)
<b>Impact</b> <sub>Transformateur</sub>	Facteur d'Impact de référence conservé (10,9 kg éq CO <sub>2</sub> /kVA)
<b>Impact</b> <sub>support</sub>	Facteur d'Impact base de données INIES (12,33 kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de module)
<b>Impact</b> <sub>connexion électrique</sub>	Facteur d'Impact de référence conservé (70,1 kg éq CO <sub>2</sub> /kWc)

Concernant l'impact du module PV, la donnée liée à l'évaluation du CO<sub>2</sub> est issue de l'**Evaluation Carbone Simplifiée (ECS) du module majorée**. La majoration est choisie à **28,30%** lorsque l'on prend pour référence des modules du marché existant, qui ont généralement une ECS très inférieures aux données conservatrices de l'ADEME (pour intégrer l'encadrement des modules, leur dispositif de fixation, les câblages et le transport). Développée dans les cahiers des charges des Appels d'Offres de la CRE, l'Evaluation Carbone Simplifiée (ECS) des modules photovoltaïques peut être réalisée par le producteur des modules qui réalise alors une attestation. Pour qu'elle soit valide, le détail pour des matériaux nécessaires à la fabrication des modules ou des films photovoltaïques doit être documenté lors de sa réalisation. La formule de calcul pour évaluer l'ECS est la suivante :

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

*G* : exprimé en kg eq CO<sub>2</sub>/kWc, *G* représente la quantité de gaz à effet de serre émise lors de la fabrication d'un kilowatt crête de module photovoltaïque, c'est la valeur retenue pour l'ECS.

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 suivante.

$$G_i [kg \text{ eq } CO_2/kWc] = \sum_j (GWP_{ij} * X_{ij}) * Q_i$$

$Q_i$  : représente la quantité du composant  $i$  (déterminée à l'étape 1) nécessaire à la fabrication d'un kWc de module ou film photovoltaïque, incluant les pertes et casses.

$X_{ij}$  : sans unité,  $X_{ij}$  représente la fraction de répartition des sites  $j$  de fabrication du composant  $i$ . Ce coefficient est moyenné sur une année d'approvisionnement.

$GWP_{ij}$  unitaire : exprimé en kilogramme équivalent  $CO_2$  par unité de quantification du composant,  $GWP_{ij}$  représente l'émission spécifique de  $CO_2$  eq associée à la fabrication du composant  $i$  par unité de quantification du composant (par exemple le  $m^2$  pour le module) dans le site de fabrication  $j$  ( $GWP$  = Global Warming Potential).

Dans le cas des modules Jinko Tiger Neo N-type 72HL4-BDV pour une puissance de 570 Wc, cette évaluation a été certifiée (cf. attestation en Annexe 2) et permet de définir que **l'ECS du module est de 448,68 kg eq  $CO_2/kWc$** . Des écarts existent entre les distances d'approvisionnement des composants dans les ACVs réalisées utilisées dans l'ECS et les approvisionnements réels.

Pour les données non contenues dans les ECS (fabrication et approvisionnement en câbles des boîtes de jonction, du cadre aluminium ou acier des modules), une majoration de 28,30% est apportée à la valeur de l'ECS et incluse dans les calculs impliquant le facteur « G ».

Avec un niveau de recyclage de 94,7 % (Source : établissement de recyclage de modules Soren, ex-PV Cycle), les impacts sur la fin de vie sont limités en comparaison de la fabrication du module.

Pour les onduleurs, comme la durée de vie de référence d'un onduleur est de 15 ans et conformément au référentiel, nous avons considéré un renouvellement soit deux fois plus d'onduleurs.

**Impact Infrastructure = 4 077,04 tonnes  $CO_2$  éq.**

### ✓ Evaluation des impacts liés aux infrastructures complémentaires

La règle de calcul concernant la détermination des facteurs d'impacts et la suivante :

**Impact Infrastructures complémentaires =**

**Impact Accès + Impact Local technique + Impact Clôture**

Afin d'apporter une vision plus réaliste du projet, le facteur d'impact « **Impact Accès** » est la somme des facteurs d'impacts des différents types d'accès qui sont créés pour le présent projet, soit :

**Impact Accès = Impact route bitume + Impact Piste55cm + Impact Piste30cm + Impact Piste05cm**

Les données retenues sont le projet sont les suivantes :

Impact	Projet
<b>Impact</b> création route d'accès bitumée	Facteur d'Impact de référence conservé (304 000 kg éq CO <sub>2</sub> /km)
<b>Impact</b> création piste « lourde renforcée » 55cm prof.	Facteur d'Impact Base GES ADEME (99 000 kg éq CO <sub>2</sub> /km)
<b>Impact</b> création piste « lourde classique » 30cm prof.	Facteur d'Impact Base GES ADEME (54 000 kg éq CO <sub>2</sub> /km)
<b>Impact</b> création piste « légère » 05cm prof.	Facteur d'Impact Base GES ADEME (7 200 kg éq CO <sub>2</sub> /km)
<b>Impact</b> Local technique	Facteur d'Impact de référence conservé (7,28 kg éq CO <sub>2</sub> /kWc)
<b>Impact</b> Clôture	Facteur d'Impact de référence conservé (41,8 kg éq CO <sub>2</sub> /m de clôture)

**Impact** Infrastructures complémentaires = 95,32 tonnes CO<sub>2</sub> éq.

#### ✓ Evaluation des impacts liés aux chantiers

La règle de calcul concernant la détermination des facteurs d'impacts et la suivante :

$$\text{Impact}_{\text{Chantier}} =$$

$$\text{Impact}_{\text{Installation}} + \text{Impact}_{\text{Désinstallation}} + \text{Impact}_{\text{Surface occupée}}$$

Les données retenues sont le projet sont les suivantes :

Impact	Projet
<b>Impact</b> Installation	Facteur d'Impact de référence conservé (4,71 kg éq CO <sub>2</sub> /kWc)
<b>Impact</b> Désinstallation	Facteur d'Impact de référence conservé (4,71 kg éq CO <sub>2</sub> /kWc)
<b>Impact</b> Surface occupée	Facteur d'Impact de référence conservé (0,00 kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ).

**Impact** Chantier = 50,87 tonnes CO<sub>2</sub> éq.

#### ✓ Evaluation des impacts liés à l'entretien

La règle de calcul concernant la détermination des facteurs d'impacts et la suivante :

$$\text{Impact}_{\text{Entretien}} =$$

$$\text{Impact}_{\text{Nettoyage des modules}} + \text{Impact}_{\text{Transport des agents de maintenance}}$$

Les données retenues sont le projet sont les suivantes :

Impact	Projet
<b>Impact</b> Nettoyage des modules	Facteur d'Impact de référence conservé (0,19 kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> de module)
<b>Impact</b> Transport des agents de maintenance	Facteur d'Impact de référence conservé (0,283 kg éq CO <sub>2</sub> /km)  Une fréquence de 8 allers-retours par an est appliquée au calcul.

EDF Renouvelables dispose de nombreux sites de maintenance répartis sur le territoire. Cette proximité permet de participer à la vie des territoires. Une antenne est présente à Haynecourt, à 36 km a été retenue mais d'autres antennes pourront être envisagées ultérieurement.

**Impact** Entretien = 9,78 tonnes CO<sub>2</sub> éq.

#### ✓ Evaluation des impacts liés au déboisement

La règle de calcul n'est pas considérée dans le référentiel de l'ADEME. Aussi, il a été choisi cette règle de calcul pour la détermination des facteurs d'impacts :

Le projet de centrale photovoltaïque nécessite le déboisement de 1,28 ha de forêt plus ou moins dense. La grande multitude de facteurs entrant en compte dans le stockage de dioxyde de carbone par le sol et la végétation rend complexe le calcul des émissions dues au changement d'affectation du sol. L'impact du changement d'affectation des sols a donc été calculé à partir des valeurs par défaut fournies par la Base GES de l'ADEME, présentées ci-dessous :

	Cultures	Prairies	Forêts	sols non imperm.	sols imperm.
<b>Cultures en terres arables</b>		-1,8	-1,61	0	190
<b>Prairies permanentes</b>	3,48		-0,37	0	290
<b>Forêts</b>	2,75	<b>0,37</b>		0	<b>290</b>

Tableau 1 : Les facteurs d'émission (ou de captation) proposés pour la France en tCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>

La nouvelle affectation du sol pendant l'exploitation de la centrale sera de la prairie permanente, comme le montre les nombreux retours d'expériences de EDF Renouvelables. En revanche, un facteur d'émission de sols imperméabilisés a été affecté aux futures voiries, mais cette approche est considérée comme maximisante car les voiries sur le site seront semi-perméables et non totalement imperméables. La durée de changement d'affectation du sol est de 30 ans, soit la durée d'exploitation de la centrale, conformément à la méthode d'analyse du cycle de vie de l'ADEME.

Les résultats de ce calcul montrent que le **changement d'affectation des sols des 1,28 ha de forêt du au déboisement entraînera des émissions équivalentes à 12,87 tonnes de CO<sub>2</sub> par an.**

<sup>1</sup> Source : [https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD\\_DOC\\_FR/index.htm?changement\\_daffectedation\\_des\\_so.htm](https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?changement_daffectedation_des_so.htm)

**Impact Déboisement = 386.1 tonnes CO<sub>2</sub> éq.**

✓ **Evaluation des impacts liés au projet**

En cas de déboisement :

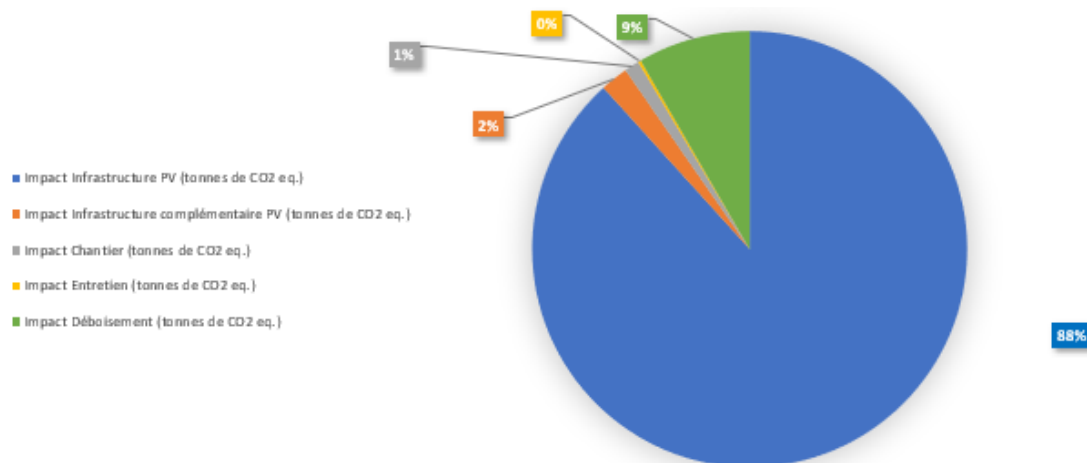
La règle de calcul correspond à la somme des évaluations des impacts sur les 5 précédentes catégories :

**Impact<sub>Projet</sub> =**

**Impact<sub>Infrastructure</sub> + Impact<sub>Infrastructures complémentaires</sub> + Impact<sub>Chantier</sub> + Impact<sub>Entretien</sub> + Impact<sub>Déboisement</sub>**

**Impact<sub>Projet</sub> = 4 618,96 tonnes CO<sub>2</sub> éq.**

La répartition des impacts des différents composants du projet est schématisée ainsi :



Les impacts liés aux équipements principaux (**infrastructures PV**) représentent 88 % des impacts sur le projet.

c. Etape 2, évaluation du productible

Cette deuxième étape consiste en l'**évaluation du productible**. L'énergie produite par un module photovoltaïque dépend de la puissance crête installée [Wc] qui diminue avec le temps, en raison des changements de performance pendant la durée de vie. Le calcul de la production d'énergie a été fait avec l'équation suivante :

$$ET = \sum_{i=1}^{DVR} E_{i-1}$$

Où :

$ET$  = Production d'énergie sur l'ensemble de la durée de vie de la centrale [kWh]

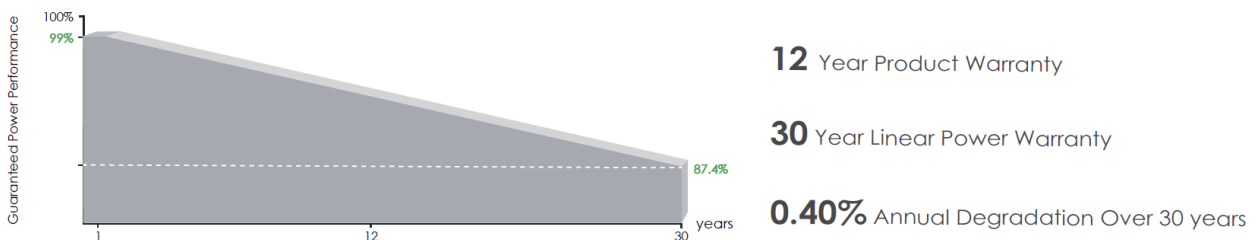
$DVR$  = Durée de vie de référence : 30 ans

$E_i$  = Production d'énergie pour l'année  $i$  [kWh/an]

### Productibles sur le cycle de vie du projet PV sur le site pressenti :

Les modules du projet ont une garantie de performance de 30 ans, une performance de 99% la première année et 87,4% au terme de la garantie de performance. Il a donc été considéré une dégradation annuelle de 0,40% pendant la durée de garantie.

## LINEAR PERFORMANCE WARRANTY



La production électrique annuelle de la centrale au cours de la 1<sup>ère</sup> année d'exploitation sera de 5,7 GWh. Le calcul sur le cycle de vie intègre la dégradation du module.

**Productible sur le cycle de vie = 161,44 GWh**

#### d. Etape 3, impacts environnementaux rapportés à l'UF

Cette troisième et dernière étape est l'analyse qui permet l'évaluation des **impacts environnementaux du projet rapportés à l'UF, le kg éq CO<sub>2</sub>** dans notre cas. L'analyse utilise les deux précédents résultats (étape 1 & 2) pour évaluer les impacts environnementaux du système PV rapportés à l'unité fonctionnelle du Référentiel PV.

L'évaluation des impacts environnementaux du système PV conformément à l'unité fonctionnelle du référentiel et aux impacts environnementaux de référence du système PV repose sur l'équation suivante :

$$Imp_{UF} = \frac{Imp_{Système PV}}{E_{Total}}$$

Avec :

$Imp_{UF}$  : Impact du système PV par unité fonctionnelle, dans ce cas des kg éq CO<sub>2</sub> / kWh

$Imp_{Système PV = projet PV}$  : Impact du système PV ou projet PV en kg éq CO<sub>2</sub>

$E_{Total}$  : Valeur du productible en kWh

L'évaluation des impacts environnementaux dans le cas du CO<sub>2</sub> eq. sur le projet est la suivante :

	96
<b>Imp<sub>projet PV</sub> (kg éq CO<sub>2</sub>)</b>	4 619 100
<b>E<sub>Total</sub> (kWh)</b>	161 442 479,18
<b>Imp<sub>UF</sub> (g CO<sub>2</sub> éq / kWh)</b>	28,61

### III. EVALUATION DES EMISSIONS CARBONE EVITEES

Les émissions évitées reposent sur une comparaison entre les émissions liées au mix énergétique d'un réseau et les émissions liées aux nouvelles productions venant s'ajouter au réseau. Les valeurs de ce mix énergétique sont très différentes d'un pays à un autre en fonction des modes de production de l'électricité (énergies renouvelables, nucléaire, gaz, fioul, charbon, etc.), ainsi qu'entre la France métropolitaine et les territoires ultramarins. Les énergies renouvelables ont aussi la particularité de se substituer à une production d'origine fossile historiquement (fioul, charbon, gaz).

D'après l'analyse réalisée par RTE dans la « [NOTE : PRÉCISIONS SUR LES BILANS CO2 ÉTABLIS DANS LE BILAN PRÉVISIONNEL ET LES ÉTUDES ASSOCIÉES](#) » publiée en juin 2020, « [l'augmentation de la production éolienne et solaire en France se traduit par une réduction de l'utilisation des moyens de production thermiques \(à gaz, au charbon et au fioul\)](#) ».

Dans les faits, ce développement des énergies renouvelables a permis la fermeture des dernières centrales au fioul en 2018 en France. A cette date, les 4 dernières centrales à charbon de France fournissaient encore 1,18 % de la consommation nationale d'électricité, mais aux prix d'environ 10 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit près de 30 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur électrique. Leurs fermetures définitives étaient programmées pour 2022 grâce au développement des énergies renouvelables et notamment les projets photovoltaïques et éoliens (onshore et offshore) qui viennent s'y substituer.

Pour le calcul des émissions évitées, deux scénarios ont donc été retenus :

- **Scénario 1** : valeur de CO<sub>2</sub> du réseau de **69 g éqCO<sub>2</sub>/kWh** d'après la méthode des émissions évitées de CO<sub>2</sub> développée par la R&D d'EDF correspondant au valeur du mix énergétique français (hors export à l'international permettant d'éviter des émissions supplémentaires dans les pays frontaliers au mix énergétique plus carbonés comme l'Allemagne, la Grande-Bretagne, etc.).

- **Scénario 2** : valeur de CO<sub>2</sub> du réseau de **300 g éqCO<sub>2</sub>/kWh** conformément à l'[étude d'impact du Grenelle de l'environnement](#) qui a évalué que les rejets de CO<sub>2</sub> évités par une installation photovoltaïque permettent une économie de CO<sub>2</sub> de 19 MtCO<sub>2</sub>/an.

Pour mémoire, le facteur d'émission pour le charbon est de 1040 g CO<sub>2</sub>/kWh, celui du fioul de 840 g CO<sub>2</sub>/kWh et celui du gaz de 490 g CO<sub>2</sub>/kWh, des ordres de grandeur sans commune mesure avec les énergies renouvelables (28,61 g CO<sub>2</sub> éq / kWh dans le cas du projet avec des valeurs conservatrices).

Dans les deux cas, le calcul des émissions évitées par le projet est défini selon la formule suivante :

$$EM_{ev} = Pr_a * F_{ev}$$

Où :

- *EM<sub>ev</sub>*, exprimée en tonne de CO<sub>2</sub> équivalent, elle représente la quantité de gaz à effet de serre évitée annuellement en fonction de l'empreinte environnementale des modules photovoltaïques et du nombre de modules prévus par le projet ;

- *Pr<sub>a</sub>*, exprimée en GWh, elle représente la production annuelle de la centrale, soit 5,7 GWh pour la centrale solaire de Wallers Lambrecht;

- *F<sub>ev</sub>*, exprimée en g CO<sub>2</sub> / kWh, elle représente la quantité de gaz à effet de serre évitée par une installation photovoltaïque par rapport au mix énergétique.

		Scénario 1	Scénario 2
<b>Projet</b>	<b>Production de l'année 1 (GWh)</b>	5,7	
	<b>Dégradation annuelle du module (%)</b>	0,40	
	<b>Durée d'exploitation (années)</b>	30	
<b>Facteurs d'émission (g eq CO<sub>2</sub> / kWh)</b>		<b>69</b>	<b>300</b>
<b>Résultat</b>	<b>Emissions évitées, année 1 (tonnes CO<sub>2</sub>)</b>	<b>230,22</b>	<b>1 546,92</b>
	<b>Emissions évitées sur la durée de vie du parc, soit 30 ans (tonnes CO<sub>2</sub>)</b>	<b>6 520,57</b>	<b>43 813,78</b>

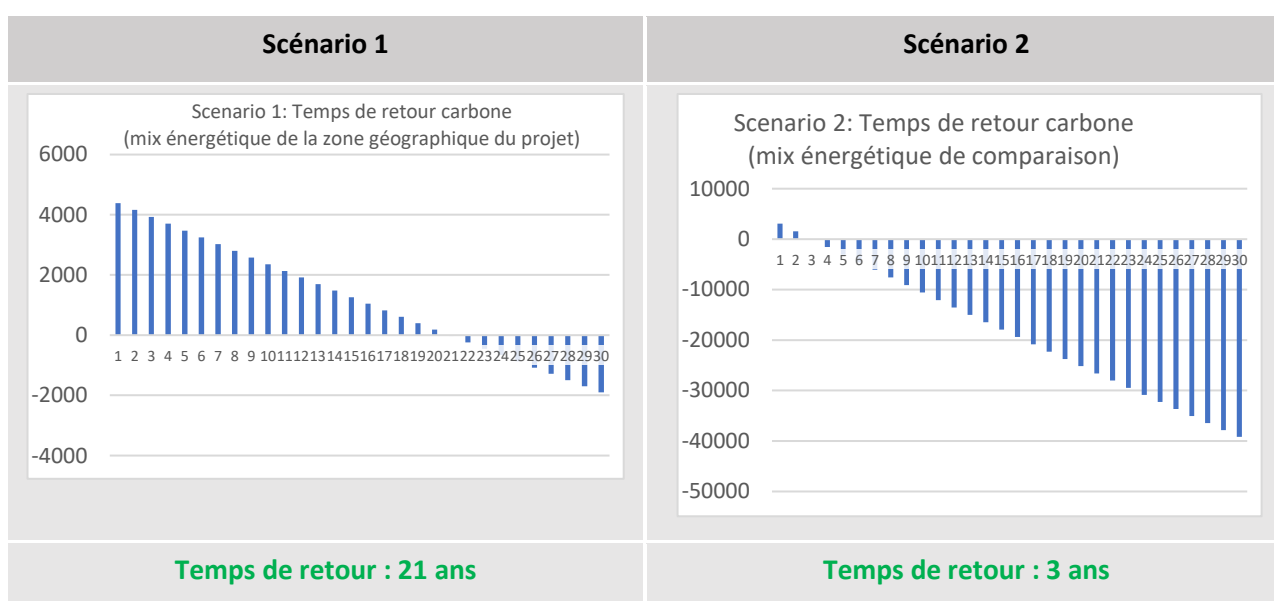
Tableau : Evaluation des émissions évitées de CO<sub>2</sub> eq. dans le mix énergétique considéré



## IV. EVALUATION DU TEMPS DE RETOUR CARBONE DU PROJET

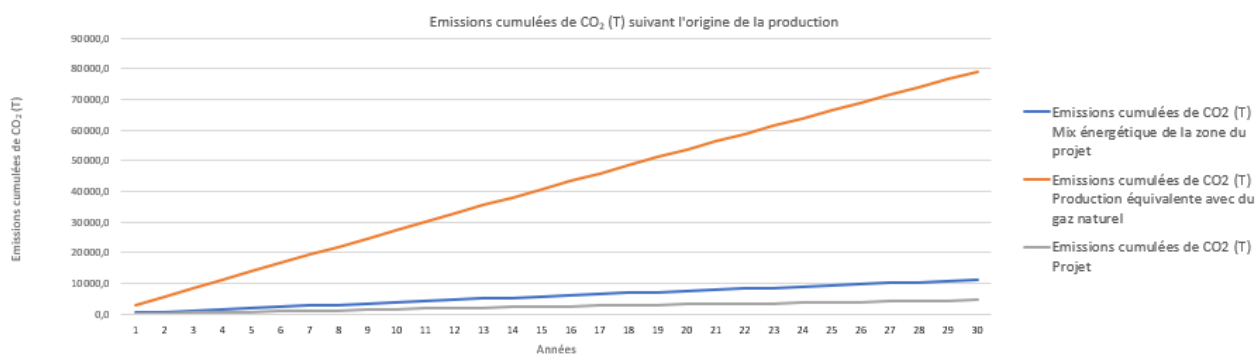
Le « temps de retour carbone » correspond au ratio entre la somme des émissions de CO<sub>2</sub> rejetées au cours du cycle de vie (fabrication, transport, installation, démantèlement – recyclage) et les émissions de CO<sub>2</sub> évitées annuellement. Le résultat permet d'évaluer en combien d'année les émissions de CO<sub>2</sub> émises sur le cycle de vie du projet sont compensées par les émissions évitées (c'est à dire les émissions de CO<sub>2</sub> qui auraient été émises par un autre moyen de production pour produire la même quantité d'électricité).

D'après la présente analyse, les émissions de CO<sub>2</sub> sur le cycle de vie du projet sont de **4 618,96 tonnes de CO<sub>2</sub>** (rappel : à partir de valeurs conservatrices), un résultat couvre sur l'ensemble du cycle de vie du projet conformément à la méthode ACV de l'ADEME.



### Représentation des émissions cumulées en fonction du mode de production d'énergie :

Au regard des évolutions du mix-énergétique français, le mode de production d'énergie fossile auxquelles va se substituer le projet va être principalement le gaz qui a facteur d'émission de 490 g CO<sub>2</sub>/kWh, le charbon devant être prochainement définitivement arrêté en France.



**Dans le cas d'une production au gaz équivalente, les émissions de CO<sub>2</sub> auraient été d'environ 17 fois plus importantes** (79 106 tonnes de CO<sub>2</sub>eq. émises en cumulé par du gaz, contre 4 618,96 tonnes de CO<sub>2</sub>eq. émises par le projet pour produire 161,4 GWh sur sa durée de vie).

## V. PISTES D'AMELIORATION

Conformément à son engagement environnemental, EDF Renouvelables travaille pour faire progresser le bilan environnemental de ses projets. Une analyse de cycle de vie d'un parc a été menée avec un partenaire pour identifier plus précisément les postes à l'origine des émissions les plus importantes. On peut citer par exemple la possibilité de :

- ✓ Valoriser des matériaux recyclés, notamment au niveau des structures métalliques ou de tout autre équipement en métal, ce qui aura l'impact potentiel fort pour améliorer l'empreinte environnementale du projet ;
- ✓ Travailler avec les fournisseurs et les entreprises pour proposer les solutions présentant l'optimum environnemental et financier ;
- ✓ Limiter les matériaux mis en œuvre et les mouvements de terrain.

Les engagements d'EDF Renouvelables sont présents aussi au travers de sa Politique Environnementale et Sociétale dont l'application est contrôlée au travers d'un Système de Management Environnemental.

# ANNEXES

Annexe 1 : Fiche technique justifiant le taux de dégradation du module et la durée de certification

www.jinkosolar.com



## Tiger Neo N-type 72HL4-BDV 550-570 Watt

BIFACIAL MODULE WITH  
DUAL GLASS

**N-Type**

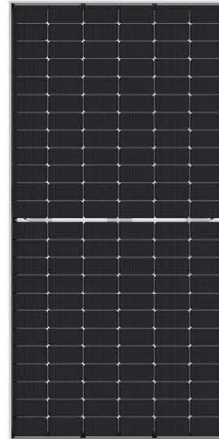
Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018  
Occupational health and safety management systems



### Key Features



#### SMBB Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



#### Hot 2.0 Technology

The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.



#### PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.



#### Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

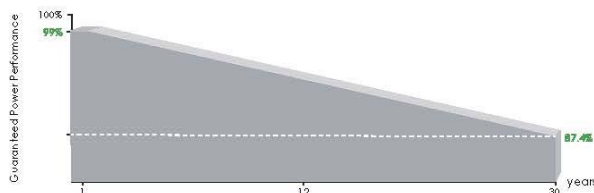


#### Higher Power Output

Module power increases 5-25% generally, bringing significantly lower LCOE and higher IRR.



### LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

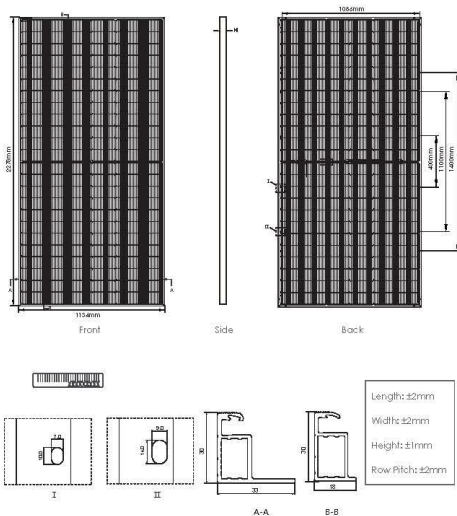


12 Year Product Warranty

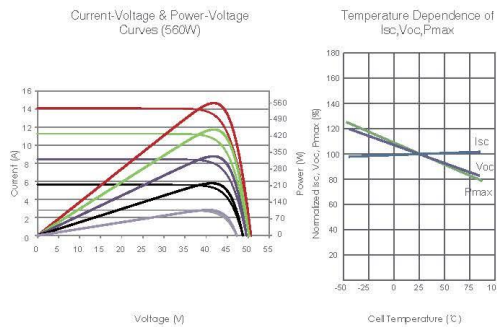
30 Year Linear Power Warranty

0.40% Annual Degradation Over 30 years

## Engineering Drawings



## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2278×1134×30mm (89.69×44.65×1.18 inch)
Weight	32 kg (70.55 lbs)
Front Glass	2.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm <sup>2</sup> (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

## Packaging Configuration

(Two pallets = One stack.)

36pcs/pallets, 72pcs/stack, 720pcs/40'HQ Container

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM550N-72HL4-BDV		JKM555N-72HL4-BDV		JKM560N-72HL4-BDV		JKM565N-72HL4-BDV		JKM570N-72HL4-BDV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P <sub>max</sub> )	550Wp	414Wp	555Wp	417Wp	560Wp	421Wp	565Wp	425Wp	570Wp	429Wp
Maximum Power Voltage (V <sub>mp</sub> )	41.58V	39.13V	41.77V	39.26V	41.95V	39.39V	42.14V	39.52V	42.29V	39.65V
Maximum Power Current (I <sub>mp</sub> )	13.23A	10.57A	13.29A	10.63A	13.35A	10.69A	13.41A	10.75A	13.48A	10.81A
Open-circuit Voltage (V <sub>oc</sub> )	50.27V	47.75V	50.47V	47.94V	50.67V	48.13V	50.87V	48.32V	51.07V	48.51V
Short-circuit Current (I <sub>sc</sub> )	14.01A	11.31A	14.07A	11.36A	14.13A	11.41A	14.19A	11.46A	14.25A	11.50A
Module Efficiency STC (%)	21.29%		21.48%		21.68%		21.87%		22.07%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of P <sub>max</sub>	-0.30%/°C									
Temperature coefficients of V <sub>oc</sub>	-0.25%/°C									
Temperature coefficients of I <sub>sc</sub>	0.046%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	80±5%									

## BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		578Wp	583Wp	588Wp	593Wp	599Wp
5%	Maximum Power (P <sub>max</sub> )	578Wp	583Wp	588Wp	593Wp	599Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.36%	22.56%	22.77%	22.97%	23.17%
15%	Maximum Power (P <sub>max</sub> )	633Wp	638Wp	644Wp	650Wp	656Wp
	Module Efficiency STC (%)	24.48%	24.71%	24.93%	25.15%	25.37%
25%	Maximum Power (P <sub>max</sub> )	688Wp	694Wp	700Wp	706Wp	713Wp
	Module Efficiency STC (%)	26.61%	26.86%	27.10%	27.34%	27.58%

\*STC: Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>

Cell Temperature 25°C

AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m<sup>2</sup>

Ambient Temperature 20°C

AM=1.5

Wind Speed 1m/s

©2021 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM550-570N-72HL4-BDV-F1-EN (IEC 2016)



## Evaluation Carbone simplifiée ECS CRE4 N°029 -2021\_029

Titulaire du certificat :	Site de production modules :	Site de production cellules :	Site de production wafers :
<b>Jinko Solar Co., Ltd.</b> No.1, Lane1466, Shenchang Road, Minhang District, Shanghai, China	<b>Zhejiang Jinko Solar Co., Ltd.</b> No. 58, Yuan Xi Road, Yuan Hua Town 314416 Haining City, Jiaxing City, Zhejiang, CHINE <i>Identification du site : 51</i> <b>Jinko Solar (Chuzhou) Co., Ltd.</b> No.18, Liming Road, La'an Economic Development Zone 239200 Chuzhou City, Anhui CHINE <i>Identification du site : 54</i>	<b>Zhejiang Jinko Solar Co., Ltd.</b> No. 58, Yuan Xi Road, Yuan Hua Town 314416 Haining City, Jiaxing City, Zhejiang, CHINE <i>Identification du site : 41</i> <b>Jinko Solar (Feidong)</b> No. 1, Northeast Corner of Longjing Avenue and Ruquan Road intersection, Hefei Circular Economy Demonstration Park, Feidong County, Hefei City, Anhui Province - CHINE <i>Identification du site : 43</i>	<b>JINKO Solar Co., Ltd</b> NO.1 Jinko Road Shangrao Economic Development Zone Jiangxi Province 334100 - CHINE <i>Identification du site : 33</i>

**Produits concernés (modules de la production concernée) :**

Module monocristallin N-type TIGER Neo Bifacial Biverre : **JKMxxxN-72HL4-BDV** (144 demi-cellules) : 550W à 570W  
**JKMxxxN-78HL4-BDV** (156 demi-cellules) : 590W à 610W

**Méthodologie :**

**Cahier des charges (CDC) de l'appel d'offres CRE4** portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir :

- De l'énergie solaire « Centrales au sol » (CDC modifié du 12/02/2021) *Valable à partir de la sixième période*
- De l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres et hangars agricoles et ombrières de parking de puissance comprise entre 100 kWc et 8 MWc » (CDC du 03/02/2021) : *Valable à partir de la septième période*
- D'énergies renouvelables en autoconsommation et situées en métropole continentale (CDC modifié du 04/06/2020). *Valable à partir de la cinquième période*
- D'énergies renouvelables en autoconsommation et situées dans les zones non interconnectées (CDC modifié du 09/06/2020). *Valable pour les deux premières périodes*
- De l'énergie solaire « transition énergétique du territoire de Fessenheim » (CDC modifié du 27/05/2020). *Valable à partir de la deuxième période*
- De l'énergie solaire et situées dans les zones non interconnectées (CDC modifié du 12/10/2020). *Valable pour toutes les périodes*

**Cahier des charges de l'appel d'offres PPE2** portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité à partir :

- De l'énergie solaire « Centrales au sol » (CDC modifié du 06/10/2021) *Valable pour la première période*
- D'énergies renouvelables en autoconsommation et situées en métropole continentale (CDC modifié du 06/10/2021) *Valable pour la première période*
- D'énergie solaire photovoltaïque, hydroélectrique ou éolienne, situées en métropole continentale (CDC modifié du 06/10/2021) *Valable pour la première période*
- De l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres agricoles, hangars et ombrières de puissance supérieure à 500 kWc » (CDC modifié du 05/10/2021) *Valable pour la première période*
- De l'énergie solaire, sans dispositifs de stockage / Installations innovantes (CDC modifié du 06/10/2021) *Valable pour la première période*

**Arrêté du 6 octobre 2021** fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations implantées sur bâtiment, hangar ou ombrière utilisant l'énergie solaire photovoltaïque, d'une puissance crête installée strictement supérieure à 100kWc jusqu'à 500 kilowatts.

**Inventaire de la composition des modules :**

Technologie	Monocristalline	
	JKMxxxN-72HL4-BDV	JKMxxxN-78HL4-BDV
Polysilicium (kg)	0,83	0,90
Lingots (kg)	0,83	0,90
Wafers (nbre)	98,00	106,17
Cellules (nbre)	98,00	106,17
Modules (m²)	2,56	2,77
Verre (kg)	25,62	27,73
Trempe (kg)	25,62	27,73
EVA (kg)	2,47	2,67

*(Quantité pour un module)*

**Origine des sites de production :**

	Coefficients répartition / Sites fabrication / Pays fabrication	
	JKMxxxN-72HL4-BDV et JKMxxxN-78HL4-BDV	
Polysilicium	17% Xinjiang - Chine et 50% FBR Xuzhou - Chine 33% Recyclé Xinjiang - Chine	
Lingots	100% Xinjiang, Workshop n°2 - Chine	
Wafers	100% Shangao - Chine	
Cellules	100% Haining ou Feidong - Chine	
Modules	100% Haining ou Chuzhou - Chine	
Verre et Trempe	100% Wufu - Chine	
EVA	100% Lin'an - Chine	

CERTISOLIS TC atteste de l'origine des composants déclarés pour les produits visés ci-dessus. Certaines données doivent être vérifiées au cours d'un audit documentaire complémentaire.

**Résultats :**

Puissance Tolérance 0/+3%	JKMxxxN-72HL4-BDV					JKMxxxN-78HL4-BDV				
	550W	555W	560W	565W	570W	590W	595W	600W	605W	610W
G (kg eq CO2/kWc)	464,995	460,806	456,692	452,650	448,680	469,470	465,525	461,646	457,830	454,078

Annex

Ce certificat ECS CRE4 N°029-2021\_029 comprend 2 pages.

CERTISOLIS TC - SAS au capital de 80 000 € - RCS Chambéry : 517 720 470 - N° Siret : 517 720 47000015  
Siège social : Savoie Technolac - BP 364 - 39 allée du Lac de Côte - 73372 LE BOURGET-DU-LAC Cédex  
Filiale du groupe CSTB et du LNE

Détail du calcul :

	JKMxxxN 72H4-80V					JKMxxxN 78H4-80V				
	550W	555W	560W	565W	570W	580W	585W	600W	605W	610W
<b>Polysilicium</b>	134,886	133,671	132,477	131,305	130,153	136,219	135,075	133,949	132,842	131,753
<b>Lingots</b>	86,424	85,645	84,881	84,130	83,392	87,279	86,545	85,824	85,115	84,417
<b>Wafers</b>	16,473	16,325	16,179	16,036	15,895	16,636	16,496	16,359	16,224	16,091
<b>Cellules</b>	94,508	93,656	92,820	91,999	91,192	95,442	94,640	93,851	93,076	92,313
<b>Modules</b>	53,311	52,831	52,359	51,896	51,440	53,789	53,337	52,892	52,455	52,025
<b>Verre</b>	54,757	54,263	53,779	53,303	52,835	55,248	54,783	54,327	53,878	53,436
<b>Verre trempé</b>	11,431	11,328	11,227	11,128	11,030	11,534	11,437	11,341	11,248	11,155
<b>EVA</b>	13,205	13,086	12,970	12,855	12,742	13,324	13,212	13,102	12,993	12,887
<b>G (kg eq CO2/kWh)</b>	<b>464,995</b>	<b>460,806</b>	<b>456,692</b>	<b>452,650</b>	<b>448,680</b>	<b>468,470</b>	<b>465,525</b>	<b>461,646</b>	<b>457,830</b>	<b>454,078</b>

Typologie du numéro de série des modules et code ECS :

XXXX XX XXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX : Numéro de série

X :	identification module	XXXXXX :	date de production
X :	identification cellule	XXXXXXXX :	ordre de production
XX :	spécifications module	XXXX :	numéro de série chronologique pour chaque module
XX :	usine de production		

12 23 33 41 51 : Marking label

- 1st-2nd : Polysilicium (12 : Xinte et 15 : GCL)
- 3rd-4th: Ingot (23(2): Jinko Xinjiang Workshop n°2)
- 5th-6th: Wafer (33: Jinko Shangrao)
- 7th-8th: Cell (41: Jinko Haining et 43 : Jinko Feldong)
- 9th-10th: Module (51: Jinko Haining et 54: Jinko Chuzhou)

Informations :

Les calculs ont été effectués sur la base des valeurs par défaut (Tableau 2 : Valeurs des émissions de GES en CO2eq pour la fabrication des composants) de la méthodologie citée ci-dessus à l'exception des valeurs :

- du procédé de fabrication du « Poly-Si recyclé » (Site de Xinjiang - Chine) – validée par ADEME le 01/11/2020,
  - du procédé de fabrication du « Poly-Si Siemens » (Site de Xinjiang - Chine) – validée par ADEME le 01/11/2020,
  - du procédé de fabrication du « Poly-Si FBR » (Site de Xuzhou - Chine) – validée par ADEME le 27/10/2021,
  - du procédé de fabrication des « Ingot mono » (Site de Xinjiang Workshop n°2 - Chine) – validée par ADEME le 31/12/2020,
  - du procédé de fabrication des « Wafers mono 156x156 » (Site de Shangrao - Chine) – validée par ADEME le 01/11/2020,
- qui sont issues d'une Analyse de cycle de vie récente. Les coefficients GWP<sub>i</sub> issus d'ACV sont les suivants :

	GWP <sub>i</sub>
Recycled Poly-Si (Chine)	0,379
Poly-Si Siemens (Chine)	68,452
Poly-Si FBR (Chine)	37,000
Ingot mono (Chine)	20,165
Wafers processing mono 156mmx156mm (Chine)	0,088

Date du dernier audit réalisé par un organisme accrédité sur le site d'assemblage des modules : juillet 2021 (Haining) et juin 2021 (Chuzhou)

Validité :

Certificat CRE4 N°029-2021\_029 valide 6 mois du 11/01/2022 au 11/07/2022

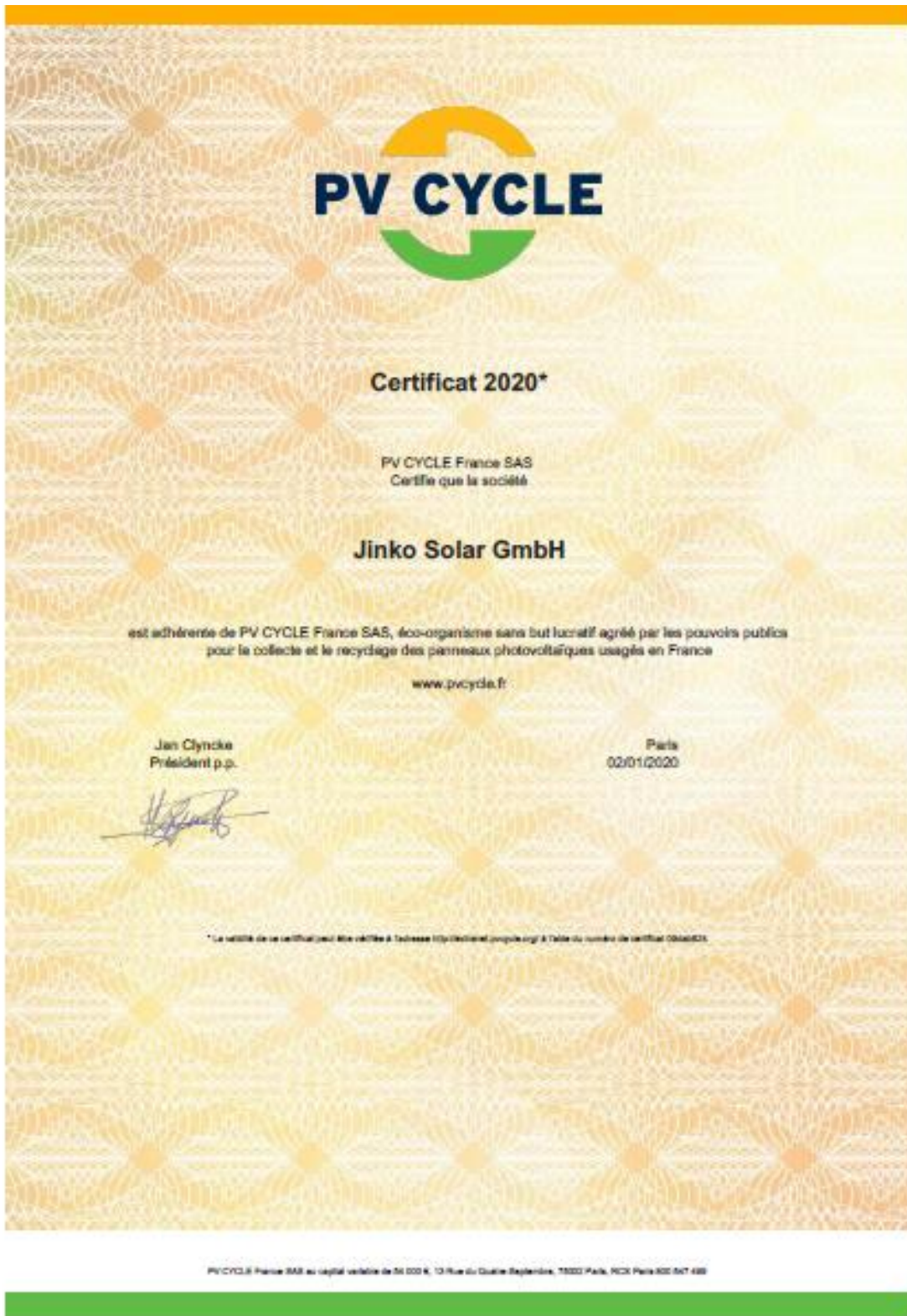
Le Bourget-du-lac, le 11 janvier 2022

Le Président




Laurent PRIEUR

Annexe 3 : Certificat PV Cycle



PV CYCLE France SAS au capital variable de 50 000 K, 10 Rue du Quatre Septembre, 75002 Paris, RCS Paris 802 647 488



Annexe 4 : Facteurs d'impacts par défaut produits le guide sectoriel ADEME 2014

Processus	Unité		Changement climatique
			kg CO <sub>2</sub> éq.
Module PV	1 kWc	Mono-Si	3,32E+03
		Multi-Si	3,41E+03
		a-Si	3,71E+03
		CdTe	2,60E+03
		CIS	3,62E+03
		Indéfini	3,71E+03
		Onduleur	1 kVA
		FI,b	1,41E+02
Transformateur	1 kVA		1,09E+01
Support	1 m <sup>2</sup> de module		4,02E+01
Connexion électrique	1 kWc		7,01E+01

Processus	Unité		Changement climatique
			kg CO <sub>2</sub> éq.
Route d'accès	1 km		3,04E+05
Local technique	1 kWc		7,28E+00
Clôture	1 m de clôture		4,18E+01
Installation	1 kWc		4,71E+00
Désinstallation	1 kWc		4,71E+00
Surface occupée	1 m <sup>2</sup> de surface au sol occupée par la centrale	Centrale PV installé sur un ancien site industriel ou un ancien site pollué	0,00E+00
		Centrale PV installé sur un site indéfini	0,00E+00
Nettoyage des modules	1 m <sup>2</sup> de module		1,90E-01
Transport des agents de maintenance	1 km		2,83E-01