

# Analyse de Cycle de Vie

## Centrale photovoltaïque – Mazerier

### UNITe

Informations générales	
Nom de la société	UNITe
Contact dans la société	Jean-Baptiste BLEHAUT - <a href="mailto:jb.blehaut@unit-e.fr">jb.blehaut@unit-e.fr</a>
Description qualitative	Centrale PV - Ombrières
Catégorie de produit	3.B - Système PV strictement supérieur à 250 kVA
Puissance nominale	6.8 MWc
Date de publication de l'étude	Juillet 2022
Coordinateur ACV	Ronan COUSQUER – Kapstan

## 1. Résultats de l'ACV

Dans le cadre du développement d'une centrale PV en ombrière, UNITE a mandaté le bureau d'études Kapstan pour la réalisation d'une Analyse de Cycle de Vie (ACV) de la centrale en cours de développement sur la commune de Mazerier. Cette ACV est basée sur **toute la durée de vie de la centrale** (construction, exploitation et fin de vie) afin de calculer **son intérêt environnemental sous la forme d'économies d'émissions de CO2-éq.**

Les résultats de l'ACV de la centrale sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats principaux sont présentés sur fond gris.

Résultats de l'Analyse du Cycle de Vie		
Empreinte carbone	7 774 219	kgCO2-éq
	<b>32.4</b>	<b>gCO2-éq/kWh</b>
	1 144.7	kgCO2-éq/kWc
ECS module	500.0	kgCO2-éq/kWc
Durée de vie	30	années
Production totale	240 155	MWh
Emissions évitées - avec ACV		
Emissions brutes évitées	512 330	kg-éq CO2/an
	15 369 902	kg-éq CO2 (total)
Emissions nettes évitées	253 189	kg-éq CO2/an
	<b>7 595 683</b>	<b>kg-éq CO2 (total)</b>
Temps de retour CO2-éq	15	ans

Tableau 1 : Résultats de l'Analyse du Cycle de Vie

Le calcul **d'émissions évitées** de CO2-éq est basé sur la différence entre l'impact carbone du kWh produit par la centrale photovoltaïque (en gCO2-éq/kWh) et l'impact carbone du kWh moyen produit en France (64 gCO2-éq/kWh<sup>1</sup>). Les émissions nettes correspondent aux émissions brutes évitées auxquelles est soustrait l'empreinte carbone de la centrale.

<sup>1</sup> [Arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](#)

Les résultats de l'ACV par processus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Bilan carbone de la centrale PV	en kgCO <sub>2</sub> -éq /kWc	en gCO <sub>2</sub> -éq /kWh	%
<b>Total</b>	<b>1 144.9</b>	<b>32.4</b>	<b>100%</b>
<b>Infrastructure PV</b>	<b>1 118.5</b>	<b>31.6</b>	<b>97.7%</b>
Module PV	613.2	17.3	53.6%
<i>Manufacturing</i>	581.0	16.4	
<i>Transport</i>	20.8	0.6	
<i>End of life</i>	11.4	0.3	
Onduleur	44.5	1.3	3.9%
Support	381.7	10.8	33.3%
Connexion électrique	70.1	2.0	6.1%
Transformateur	9.0	0.3	0.8%
<b>Infrastructure complémentaire</b>	<b>13.6</b>	<b>0.4</b>	<b>1.2%</b>
Route d'accès	-	-	0.0%
Local technique	7.3	0.2	0.6%
Clôture	6.3	0.2	0.6%
<b>Chantier</b>	<b>9.4</b>	<b>0.3</b>	<b>0.8%</b>
Installation	4.7	0.1	0.4%
Désinstallation	4.7	0.1	0.4%
<b>Entretien</b>	<b>3.4</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3%</b>
Nettoyage des modules	0.9	0.0	0.1%
Transport des agents de maintenance	2.5	0.1	0.2%

Tableau 2 : Résultats de l'ACV par processus

## 2. Périmètre de l'étude ACV

L'étude est basée sur la méthode d'Analyse de Cycle de Vie, suivant le référentiel ADEME<sup>2</sup>.

Définition des objectifs de l'étude	
Application envisagée	Calcul bilan carbone centrale PV en phase développement
Raison de l'étude	Développement de la centrale
Commanditaire de l'étude	UNITE

Tableau 3: Définition des objectifs de l'étude

Champ de l'étude	
Unité fonctionnelle	1 kWh produit par un système photovoltaïque pendant sa durée de vie et injecté dans le réseau (de distribution ou de transport) ou consommé
Lieu d'installation du système PV	Mazurier, 03800
Catégories d'impact et méthodes	Changement climatique - IPCC 2007 à 100ans - kgCO <sub>2</sub> -eq

Tableau 4 : Champ de l'étude

<sup>2</sup> [https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20140417\\_Referentiel-methodologique-PV-final3.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/20140417_Referentiel-methodologique-PV-final3.pdf)



Figure 1 : Plan de la centrale Mazerier

### 3. Méthodologie ACV

#### Calcul du facteur d'impact

L'ACV est basée sur :

- Des valeurs par défaut proposées par l'ADEME (référentiel ADEME ACV centrale PV)
- L'évaluation carbone simplifiée (ECS) du module PV : document officiel délivré par l'organisme certificateur Certisolis et qui présente le bilan carbone de la production du module PV utilisé (le cadre en aluminium étant exclu du périmètre de ce document, il a été ajouté dans le cadre de cette étude)
- Base de données d'impacts carbone : Ecoinvent 3.8

La méthodologie utilisée et les quantités prises en compte pour chaque processus sont données ci-dessous :

Méthodologie ACV			
Processus	Source	Quantité	Unité
<b>Infrastructure PV</b>			
Module PV	Voir ci-après	6 791	kWc
Onduleur	Référentiel ADEME	5 600	kVA
Support	Référentiel ADEME	31 562	m <sup>2</sup>
Connexion électrique	Référentiel ADEME	6 791	kWc
Transformateur	Référentiel ADEME	5 600	kVA
<b>Infrastructure complémentaire</b>			
Route d'accès	Référentiel ADEME	-	km
Local technique	Référentiel ADEME	6 791	kWc
Clôture	Référentiel ADEME	1 030	m
<b>Chantier</b>			
Installation	Référentiel ADEME	6 791	kWc
Désinstallation	Référentiel ADEME	6 791	kWc
<b>Entretien</b>			
Nettoyage des modules	Référentiel ADEME	31 562	m <sup>2</sup>
Transport des agents de maintenance	Référentiel ADEME	2 000	km

Tableau 5 : Méthodologie ACV

Le terrain possédant déjà des routes d'accès existantes, il n'est pas nécessaire d'en créer de nouvelles pour la centrale. L'impact route d'accès est donc nul.

## Calcul du facteur d'impact Module PV

Le module utilisé est le LR5-72HBD de Longi. Il s'agit d'un module monocristallin bifacial de 550Wc.

Le facteur d'impact comprend les éléments suivants :

Facteur d'impact Module PV	
PolySi - ingot - wafer - cell manufacturing	ECS Certisolis Méthode CRE4
Verre - EVA & PET	
Assemblage module PV	
Cadre	Ecoinvent
Transport	Ecoinvent
Fin de vie	Ecoinvent

Tableau 6 : Facteur d'impact Module PV

Concernant l'ECS Certisolis :

- Numéro ECS : CRE4 N°026-2020\_025
- Valeur ECS à 550Wc :
  - 520.66 kgCO<sub>2</sub>-éq/kWc (valeur réelle)
  - 500 kgCO<sub>2</sub>-éq/kWc (valeur arrondie<sup>3</sup>)

L'ECS Certisolis n'inclut pas les autres éléments listés dans le tableau ci-dessus. Ils ont été modélisés sur la base des processus suivants :

- Fabrication du cadre:
  - Dataset Ecoinvent: "Aluminium alloy, AlMg3 {RoW}| production | APOS, S"
- Transport:
  - **Usine – Shanghai, en camion :**
    - Distance: 750 km
    - Dataset Ecoinvent: "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RoW}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | APOS, S"
  - **Shanghai – Rotterdam, en bateau :**
    - Distance: 19 492 km
    - Dataset Ecoinvent: "Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO}| market for | APOS, S"
  - **Rotterdam – Site, en camion :**
    - Distance: 825 km
    - Dataset Ecoinvent: "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | APOS, S"
  - Le transport inclut le module PV ainsi que son packaging depuis l'usine jusqu'au site
- Fin de vie - sur la base de la méthode de traitement par Soren :
  - **Transport Site – Soren :**
    - Hypothèse distance : 1000 km
    - Dataset Ecoinvent: "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RER}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 | APOS, S"

<sup>3</sup> La CRE considère la valeur ECS arrondie à 50kgCO<sub>2</sub>-éq/kWc près et non la valeur exacte dans la notation AO CRE.

- **Cadre:**
  - Désassemblage puis recyclage
  - Dataset Ecoinvent: “Aluminium scrap, post-consumer, prepared for melting {RER}| treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at remelter | APOS, S”
- **Traitement du laminé :**
  - Traitement par broyage puis recyclage
  - Dataset Ecoinvent: “Waste electric and electronic equipment {GLO}| treatment of, shredding | APOS, S”
- **Câbles :**
  - Recyclage
  - Dataset Ecoinvent: “Used cable {GLO}| treatment of | APOS, S”
- **Boîte de jonction :**
  - Recyclage
  - Dataset Ecoinvent: “Used industrial electronic device {GLO}| treatment of, mechanical treatment | APOS, S”

Il est considéré que 1% des modules reçus sont non-conformes et 2% doivent être remplacés durant la durée de vie de la centrale. Ainsi, un facteur 1.03 est appliqué au nombre de modules nécessaires à la construction de la centrale.

Le facteur d'impact du module PV est donné ci-dessous :



Longi - 72c - bifacial - M10 LR5-72HBD		Impact Changement climatique	
550 Wp		kgCO <sub>2</sub> eq/ Module	kgCO <sub>2</sub> eq/ kWp
<b>Fabrication</b>			
PolySi		97.40	177.083
Recyclage PolySi		0.68	1.229
Ingot		51.41	93.468
Wafer		11.84	21.528
Cells		51.98	94.508
Module		29.06	52.842
Verre		29.85	54.275
Verre trempé		6.23	11.331
EVA		7.92	14.398
PET		-	-
Cadre		23.90	43.456
<b>Transport</b>			
Transport camion - Usine - port		2.37	4.304
Transport bateau		6.19	11.255
Transport camion - port - Centrale PV		2.53	4.593
<b>Fin de vie</b>			
Transport camion		3.06	5.567
Traitement du cadre		1.35	2.459
Traitement du laminé		1.48	2.695
Traitement des cables		0.16	0.294
Traitement de la boîte de jonction		0.02	0.045
<b>Impact fabrication</b>		<b>310.26</b>	<b>564.12</b>
<b>Impact Transport</b>		<b>11.08</b>	<b>20.15</b>
<b>Impact fin de vie</b>		<b>6.08</b>	<b>11.06</b>
<b>Total</b>		<b>327.43</b>	<b>595.33</b>
<b>Total - Scope ECS</b>		<b>286.36</b>	<b>520.66</b>

Tableau 7 : Facteur d'impact module PV

Remarque : Total – ECS correspond à l’empreinte carbone selon le périmètre ECS n’incluant pas le cadre, le transport ni la fin de vie.

#### Impact de la structure d’ombrières :

La structure de la méthodologie ACV de l’ADEME est celle d’une centrale au sol. Les structures d’ombrières étant plus élevées, elles sont plus lourdes par m<sup>2</sup> de panneau que celles d’une centrale au sol. Afin de prendre en compte ce surpoids, le coefficient suivant a été appliqué :

- Ratio de poids de structure par m<sup>2</sup> de panneaux entre l’ombrière de cette centrale et une structure centrale au sol classique
- Un coefficient conservateur de 30%
- On obtient avec ces hypothèses un coefficient de 2.04.



Ainsi le poids carbone de la structure dans cette ACV correspond au poids calculé avec la méthodologie ADEME auquel on a appliqué ce ratio de x2.04.

## 4. Productible PV

Calcul du productible	
Méthode de calcul du productible	Cas 1 - Dégradation basée sur la garantie du fabricant
Estimation du productible	Productible année 1 = 1 261 kWh/kWc/an Production sur 30 ans = 240 155 MWh

Tableau 8 : Productible PV

Le calcul du facteur d'émission en gCO<sub>2</sub>-eq/kWh nécessite de calculer la production électrique en kWh sur la durée de vie de la centrale. Ce calcul est basé sur les hypothèses suivantes :

- Productible = 1 261 kWh/kWc/an
- Dégradation productible – sur la base des garanties du fabricant :
  - 2% la première année – Déjà pris en compte dans le productible
  - Puis 0.45%/an
- Durée de vie : 30 ans

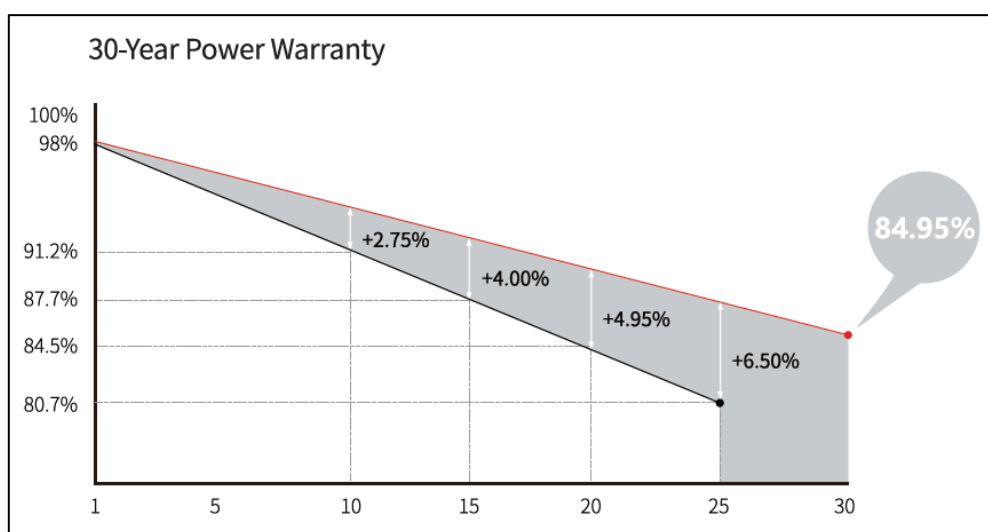


Figure 2 : Extrait fiche technique Module Longi

**Production totale de la centrale sur 30 ans : 240 155 MWh**

## 5. Analyse des résultats

Les résultats de l'ACV sont donnés ci-dessous :

Résultats de l'Analyse du Cycle de Vie		
Empreinte carbone	7 775 473	kgCO <sub>2</sub> -éq
	<b>32.4</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-éq/kWh</b>
	1 144.9	kgCO <sub>2</sub> -éq/kWc
ECS module	500.0	kgCO <sub>2</sub> -éq/kWc
Durée de vie	30	années
Production totale	240 155	MWh
Emissions évitées - avec ACV		
Emissions brutes évitées	512 330	kg-éq CO <sub>2</sub> /an
	15 369 902	kg-éq CO <sub>2</sub> (total)
Emissions nettes évitées	253 148	kg-éq CO <sub>2</sub> /an
	<b>7 594 429</b>	<b>kg-éq CO<sub>2</sub> (total)</b>
Temps de retour CO <sub>2</sub> -éq	15	ans

Les résultats sont cohérents avec :

- L'ACV faite par FTS<sup>4</sup> pour une centrale PV en France en 2020 : **32 gCO<sub>2</sub>eq/kWh (+1.2%)**
  - L'ACV inclue la contrainte module bas-carbone des AO CRE
- La valeur moyenne de la base carbone de l'ADEME<sup>5</sup> : **55 gCO<sub>2</sub>eq/kWh (-41.1%)**
  - La différence est principalement due à l'absence de contraintes « bas bilan-carbone » présents aux AO CRE dans la base carbone.

<sup>4</sup> <http://www.observatoire-energie-photovoltaïque.com>

FTS = France Territoire Solaire, think-tank l'énergie solaire photovoltaïque

<sup>5</sup> <https://www.bilans-ges.ademe.fr/>