RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

_____

Ministère de l'économie, des finances
et de la souveraineté industrielle,
énergétique et numérique

_____

Décret n° xx du xx

relatif aux caractéristiques des panneaux solaires photovoltaïques permettant un report de l'échéance de l'obligation faite aux parcs de stationnement extérieurs d'une superficie supérieure à 1500 mètres carrés

NOR : XX

Publics concernés : *propriétaires de parcs de stationnement extérieurs d'une superficie égale ou supérieure à mille cinq cent mètres carrés.*

Objet : *le décret précise les performances techniques et environnementales ainsi qu'en termes de résilience d'approvisionnement des panneaux photovoltaïques permettant aux propriétaires de parcs de stationnement de bénéficier d'un délai supplémentaire pour satisfaire à leur obligation d'installation.*

Entrée en vigueur : *Le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication.*

Application : *le décret est pris pour l'application de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables.*

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle, énergétique et numérique ;

Vu la directive (UE) 2015/1535 du Parlement européen et du Conseil du 9 septembre 2015 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information ;

Vu la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 modifiée relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, notamment son article 40 ;

Vu le décret n° 2009-697 du 16 juin 2009 modifié relatif à la normalisation ;

Vu l'avis du Conseil supérieur de l'énergie en date du 3 mars 2026 ;

Vu la notification XX adressée à la Commission européenne le XX ;

Vu les observations formulées lors de la consultation du public réalisée du XX au XX ;

Décrète :

Article 1er

Disposent du délai supplémentaire prévu au quatrième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 susvisée, les propriétaires de parcs de stationnement extérieurs dont la superficie est égale ou supérieure à 10 000 mètres carrés mentionnés au cinquième alinéa du même article qui installent des panneaux photovoltaïques répondant aux conditions suivantes :

a) Valeur de l'efficacité énergétique ou rendement, définie comme le rapport entre l'énergie reçue par la surface exposée du panneau tel que mis en œuvre et l'énergie produite, strictement supérieure à 22 % ;
b) Après la première année, baisse annuelle de l'efficacité énergétique inférieure à 0,4 % ;
c) Valeur de l'évaluation carbone simplifiée du panneau inférieure à 740 kgCO2eq/kWc ;
d) Garantie produit supérieure ou égale à 12 ans (couverture des défauts de fabrications) ;
e) Garantie performance supérieure ou égale à 30 ans (le panneau doit produire au moins 80 % de sa capacité nominale) ;
f) Assemblage du module par une entreprise qui ne réalise pas la majorité de sa production de modules dans un pays tiers représentant plus de 50 % de l'approvisionnement de l'Union européenne en panneaux photovoltaïques. La production est appréciée au niveau du groupe de sociétés au sens de l'Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE), dont l'entreprise est une filiale le cas échéant.

Si le propriétaire du parc de stationnement recourt, pour l'installation de panneaux photovoltaïques, à un tiers, il devra justifier dans les délais mentionnés au cinquième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 susvisée d'un contrat d'engagement et d'un

bon de commande portant sur des panneaux photovoltaïques destinés à équiper le parc de stationnement concerné et respectant les conditions énoncées aux *a* à *f* du présent article.

Les conditions énumérées aux *a* à *f* du présent article doivent être précisées par le contrat d'engagement ou par le bon de commande mentionnés au cinquième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 susvisée.

Les modalités de contrôle du respect des conditions énoncées aux *a* à *f* du présent article, ainsi que la méthodologie de calcul de l'évaluation carbone simplifiée du panneau, sont détaillées en annexe.

Article 2

Disposent du délai supplémentaire prévu au quatrième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 susvisée les propriétaires de parcs de stationnement extérieurs dont la superficie est inférieure à 10 000 mètres carrées et supérieure à 1 500 mètres carrés mentionnés au sixième alinéa du même article qui installent des panneaux photovoltaïques répondant aux conditions suivantes :

a) Valeur de l'efficacité énergétique ou rendement, définie comme le rapport entre l'énergie reçue par la surface exposée du panneau tel que mis en œuvre et l'énergie produite, strictement supérieure à 22 % ;
b) Après la première année, baisse annuelle de l'efficacité énergétique inférieure à 0,4 % ;
c) Valeur de l'évaluation carbone simplifiée du panneau inférieure à 740 kgCO2eq/kWc ;
d) Garantie produit supérieure ou égale à 12 ans (couverture des défauts de fabrications) ;
e) Garantie performance supérieure ou égale à 30 ans (le panneau doit produire au moins 80 % de sa capacité nominale) ;
f) Assemblage du module au sein de l'Espace économique européen. La fabrication des cellules ne doit pas être réalisée dans un pays tiers représentant plus de 50 % de l'approvisionnement de l'Union européenne en panneaux photovoltaïques.

Si le propriétaire du parc de stationnement recourt, pour l'installation de panneaux photovoltaïques, à un tiers, il devra justifier dans les délais mentionnés au sixième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 susvisée d'un contrat d'engagement et d'un bon de commande portant sur des panneaux photovoltaïques destinés à équiper le parc de stationnement concerné et respectant les conditions énoncées aux *a* à *f* du présent article.

Les conditions énumérées aux *a* à *f* du présent article doivent être précisées par le contrat d'engagement ou par le bon de commande mentionnés au sixième alinéa du III de l'article 40 de la loi n° 2023-175 10 mars 2023 susvisée.

Les modalités de contrôle du respect des conditions énoncées aux *a* à *f* du présent article, ainsi que la méthodologie de calcul de l'évaluation carbone simplifiée du panneau, sont détaillées en annexe.

Article 3

Le décret n° 2024-1104 du 3 décembre 2024 relatif aux caractéristiques des panneaux solaires photovoltaïques permettant un report de l'échéance de l'obligation faite aux parcs de stationnement extérieurs d'une superficie égale ou supérieure à 10 000 mètres carrés est abrogé.

Article 4

La ministre de la transition écologique, de la biodiversité et des négociations internationales sur le climat et la nature et le ministre de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle, énergétique et numérique sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le XX.

Par le Premier ministre :
[Prénom NOM]

La ministre de la transition écologique, de la biodiversité et
des négociations internationales sur le climat et la nature
[Prénom NOM]

Le ministre de l’économie, des finances et de la souveraineté industrielle, énergétique et numérique
[Prénom NOM]

Annexe

L’évaluation du respect des conditions énoncées aux *a* à *f* des articles 1 et 2 du présent décret est réalisée par un organisme certificateur disposant d'une accréditation selon la norme NF EN ISO/IEC 17065 : 2012 ainsi que d'une accréditation selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 : 2017 portant sur le produit module photovoltaïque (séries de normes NF EN IEC 61215 et NF EN IEC 61730 ou toutes autres méthodes équivalentes), délivrées par l'instance nationale d'accréditation, ou l'instance nationale d'accréditation d'un autre Etat membre de l'Union européenne, membre de la coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux.

À cette fin, l’organisme certificateur délivre une attestation qui doit obligatoirement mentionner :

- le titulaire de l’attestation : nom et adresse ;
- la référence exacte du module, sa puissance, les caractéristiques de la cellule, le poids du module ;
- pour les modules photovoltaïques en silicium cristallin, les caractères (numéros ou lettres) permettant l'identification des sites de fabrication de 3 composants principaux du module que sont :

  - l’usine de production des module ;
  - l’usine de production des cellules ;
  - l’usine de production de plaquette de silicium ;

  doivent être apposés sur l’étiquette au dos du module comportant le numéro de série de celui-ci, soit intégrés directement à ce numéro de série, soit faisant l’objet d’un code spécifique ;
- pour les modules photovoltaïques en couche mince, les caractères (numéros ou lettres) permettant l’identification du site de production du module doivent être apposés sur l’étiquette au dos du module comportant le numéro de série de celui-ci, soit intégrés directement à ce numéro de série, soit faisant l’objet d’un code spécifique ;
- le nom et l'adresse des sites de production susmentionnés ;
- pour chacun de ces sites de production, les étapes de production réalisées sur le site de production ;
- la date du dernier audit réalisé sur le site d'assemblage du module (celui-ci doit dater de moins d’un an) ;

- la période de validité de l’attestation ;
- le respect des conditions énoncées aux *a* à *f* des articles 1 et 2 du présent décret et les résultats obtenus.

L’attestation a une durée maximale de 12 mois.

L’autorité administrative peut faire réaliser chaque année par un organisme certificateur tel que spécifié ci-avant des vérifications sur les modules concernés par échantillonnage, après leur mise sur le marché. Les vérifications portent sur :

- la conformité du module à la valeur contractuelle de l’empreinte carbone simplifiée,
- le contrôle de la puissance annoncée sur l’étiquette du module,
- la mesure de l’épaisseur de la cellule.

L’autorité administrative se réserve le droit de réaliser ou faire réaliser toute autre vérification jugée nécessaire afin de s'assurer du respect des dispositions de ce décret, en particulier la vérification, sur pièce ou sur place, de l’adéquation entre les volumes contractualisés par les sites d’assemblage des modules et les sites de production des cellules et leurs capacités de production respectives.

A. Méthodologie de l’évaluation carbone simplifiée

Pour que l’évaluation carbone simplifiée soit considérée comme valide, les modules doivent être déclarés conformes aux normes NF EN IEC 61215 et NF EN IEC 61730 ou toutes autres méthodes équivalentes par un laboratoire accrédité selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 : 2017 tel que spécifié ci-avant et l’approvisionnement et l’origine de chacun des matériaux nécessaires à la fabrication des modules ou des films photovoltaïques qui font l’objet du calcul du bilan carbone (listés en annexe A) devront être documentés lors de sa réalisation.

I. Hypothèses et périmètre d’évaluation de la méthode d’évaluation carbone simplifiée

L’évaluation carbone simplifiée des modules de la centrale photovoltaïque se fonde uniquement sur l’évaluation carbone simplifiée du laminé photovoltaïque (module photovoltaïque sans cadre). La puissance crête des modules est considérée uniquement sur la face avant (la puissance face arrière n’est pas prise en compte).

Une tolérance négative de la puissance crête n’est pas autorisée dans le calcul de l’évaluation carbone simplifiée.

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 silicium métallurgique (MG-Si)
- Fabrication du polysilicium
- Fabrication du lingot (ingot as-grown)
- Fabrication de la brique de silicium (ingot to brick)
- Fabrication de la plaquette (wafer)
- Fabrication de la cellule (cell) (avant processus de découpe réalisé sur le site d’assemblage du module)
- Fabrication du module
- Fabrication du verre et du verre trempé
- Fabrication de l’encapsulant (EVA, POE ou autre)
- Fabrication de la face arrière (PET, PVF, POE ou autre) (backsheet)

Filière couche mince :

- Fabrication du module
- Fabrication du verre et du verre trempé ;
- Fabrication de l’encapsulant (EVA, PET, PVF, POE ou autre) ;
- Fabrication de la face arrière (PET, PVF, POE ou autre) (backsheet).

Les émissions de gaz à effet de serre provenant des autres étapes du cycle de vie du module ne sont pas considérées (transport vers le site de mise en service et d’exploitation, installation, utilisation, fin de vie).

II. Formule de calcul utilisée

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

Formule 1

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

Formule dans laquelle :

- **G**, [kg eq CO_2/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 Gi, 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. Gi s'exprime dans la même unité que G. Chaque Gi s'obtient par la formule 2.

Formule 2

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

Formule dans laquelle :

- **Qi** 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.
- **xij**, 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.
- **GWPij unitaire**, exprimé en kilogramme équivalent CO_2 par unité de quantification du composant, représente l'émission spécifique de CO_2eq 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).

III. Étapes nécessaires au calcul du bilan carbone simplifié du module ou film photovoltaïque

III.1/ Inventaire de la quantité de matériau nécessaire à la fabrication du module ou film photovoltaïque

La première étape de calcul de l'analyse carbone simplifiée du module photovoltaïque consiste à inventorier et à quantifier les composants nécessaires à la fabrication d'un kilowatt crête de

module photovoltaïque. On appliquera les coefficients du tableau 2, relatifs à la quantité de matériaux et composants nécessaires à la fabrication du produit intermédiaire, pour prendre en compte les pertes et casses lors de la fabrication des modules en technologies silicium cristallin.

La quantité de chaque composant nécessaire à la fabrication dans un kilowatt crête de module, notée Qi, est indiquée dans une unité propre au composant :

- **MG-Si** en kg. Cette valeur est ramenée à la masse de silicium nécessaire à la fabrication d'1 kWc de module. Les pertes et casses seront prises en compte.
- **Polysilicium** en kg. Cette valeur est ramenée à la masse de silicium nécessaire à la fabrication d'1 kWc de module. Les pertes et casses seront prises en compte.
- **Lingots** en kg de silicium. Cette valeur est ramenée à la masse de silicium nécessaire à la fabrication d'1 kWc de module. Les pertes et casses seront prises en compte.
- **Brique** en kg de silicium. Cette valeur est ramenée à la masse de silicium nécessaire à la fabrication d'1 kWc de module. Les pertes et casses seront prises en compte (tête, queue et squaring).
- **Plaquettes (wafers)** en m² de plaquettes. Cette valeur est ramenée à la surface de plaquettes nécessaire pour faire 1 kWc. Les pertes et casses seront prises en compte. Le calcul des pertes et casses est détaillé dans le Tableau 2 pour une perte sciage (kerf) fixée à 70 µm et une densité de silicium de 2330 kg/m².
- **Cellules** en m² de cellules. Cette valeur est ramenée à la surface de cellules nécessaire pour faire 1kWc. Les pertes et casses seront prises en compte.
- **Modules** en m² de modules. Cette valeur est la surface de module nécessaire pour faire 1 kWc que ce soit pour les modules cristallins ou en couches minces.
- **Verre** en kg. Cette valeur est la masse de verre nécessaire pour faire 1 kWc (ramenée donc à la surface et l'épaisseur de verre, masse volumique de référence 2700 kg/m^3).
- **Verre trempé** en kg. Cette valeur est la masse de verre trempé nécessaire pour faire 1 kWc (ramenée donc à la surface et l'épaisseur de verre trempé, masse volumique de référence 2700 kg/m^3).
- **Encapsulant : EVA** ou autre matériau équivalent en kg. Cette valeur est la masse d'encapsulant nécessaire pour faire 1 kWc (ramenée donc à la surface et l'épaisseur d'encapsulant, masse volumique de référence 963 kg/m^3).
- **Face arrière : PET, backsheet** ou autre matériau équivalent en kg. Cette valeur est la masse de face arrière nécessaire pour faire 1 kWc (ramenée donc à la surface et l'épaisseur de face arrière, masse volumique de référence 1400 kg/m^3).
- **PVF** en kg. Cette valeur est la masse de PVF nécessaire pour faire 1 kWc (ramenée donc à la surface et l'épaisseur de PVF, masse volumique de référence 1400 kg/m^3).

III.2/ Identification du ou des sites de fabrication de chaque composant

Le calcul de l'évaluation carbone simplifiée nécessite de connaître les sites de fabrication de chacun des composants du module photovoltaïque. En effet, la quantité de gaz à effet de serre émise directement ou indirectement (production d'électricité) en conséquence est fortement dépendante du pays de fabrication.

Le site et le pays de fabrication de chaque composant doivent obligatoirement être reportés dans les colonnes 6 du tableau 1.

Si un même composant i provient de différents sites de fabrication j, les coefficients de répartition xij des sources d'approvisionnement sur les différents sites de production (moyennés sur une année d'approvisionnement) doivent être indiqués dans la colonne 3 du tableau 1 (pour chaque composant i, la somme sur j des xij est égale 1).

III.3/ Détermination de la quantité de gaz à effet de serre en équivalent CO_2 émise directement ou indirectement lors de la fabrication du composant i par unité de quantification du composant dans le site de fabrication j (termes GWPij)

Les GWPij unitaires sont déterminés en utilisant les valeurs fournies dans le tableau 3 selon la méthodologie décrite dans le paragraphe ci-dessous. Le tableau 3 donne les valeurs d'émission de gaz à effet de serre en CO_2eq pour les étapes de fabrication des composants du module photovoltaïque selon le pays ou la zone géographique du pays de fabrication.

- Chaque ligne du tableau correspond à un type de technologie de module photovoltaïque : monocristallin, film CdTe ou film CIGS. Si le (ou les) pays de fabrication figure dans le tableau, la valeur d'émission spécifique de CO_2eq de la colonne correspondante devra être utilisée.
- si le (ou les) pays de fabrication ne figure pas dans le tableau 3 : une valeur d'émission spécifique conservatrice sera utilisée :
  - ✓ Si le pays fait partie de l'Espace Économique Européen la valeur à utiliser est indiquée dans la colonne « autre pays d'Europe » ;
  - ✓ Si le pays ne fait pas partie de l'Espace Économique Européen, la valeur à utiliser est indiquée dans la colonne « Autre pays du monde ».

L'évaluation carbone simplifiée du laminé photovoltaïque prend en compte un taux de silicium recyclé (valeurs de GWPij définies par le tableau 3) égal à 33%.

III.4/ Calcul Final de G

Le calcul final de G à partir de la formule 1 se fait grâce à l'addition des Gi pour tous les composants i du module ou film photovoltaïque.

Tableau 1 :

- Inventaire de la composition d'un kilowatt crête de module ou de film photovoltaïque (Qi)

- Identification des sites de fabrication et de la répartition des sources d’approvisionnements pour un composant pouvant provenir de plusieurs sites de fabrication
- Valeurs des GWPij (Global Warming Potential) pour chaque composant du module ou film photovoltaïque, issues du tableau 3

	Quantification de chaque composant nécessaire à la fabrication d'1 kWc de Puissance.	**Coefficients de répartition des sources d'approvisionnement sur les différents sites de fabrication**	**Référence type du composant**	**Raison sociale du site de fabrication du composé**	**Adresse complète et Pays du site de fabrication du composant**	**Valeurs de GWPij unitaires à utiliser par défaut**
Polysilicium métallurgique (Mg-Si)	Quantité : kg	X 1 : % X 2 : %	Réf 1 Réf 2	Site 1 Site 2…	Adresse complète 1 Pays Adresse complète 2 Payx	Valeur 1: kg eqCO_2 / kg Valeur 2 : kg eqCO_2 / kg
Polysilicium siemens (SoG-Si)	Quantité : kg	X 1 : % X 2 : % …	Réf 1 Réf 2 …	Site 1 Site 2 …	Adresse complète 1 Adresse complète 2	Valeur 1: kg eqCO_2 / kg Valeur 2 : kg eqCO_2 / kg
Lingots	Quantité : kg	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg eqCO_2 / kg
Briques	Quantité : kg	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg eqCO_2 / kg
Plaquettes (wafer)	Longueur : mm Largeur : mm Epaisseur : mm	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg eqCO_2 / m²

Cellules	Technologie : Longueur : mm Largeur : mm Epaisseur : mm	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg $eqCO_2$ / m²
Modules	Longueur : mm Largeur : mm Plage de puissances par pas de 5 Wc	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg $eqCO_2$ / m²
Verre	Longueur : mm Largeur : mm Epaisseur : mm	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 : …	Adresse complète 1	Valeur 1: kg $eqCO_2$ / kg

Verre trempé	Largeur : mm Epaisseur : mm	X 1 : % …	Réf 1 …	Site 1 :	Adresse complète 1 …	Valeur 1: kg $eqCO_2$ / kg
Encapsulant	Epaisseur : µm	X 1 : % X 2 : % …	Réf 1 Réf 2 …	Site 1 : Site 2 :	Adresse complète 1 Adresse complète 2	Valeur 1 kg eqCO2 / kg : Valeur 2: kg eqCO2 / kg :
Face arrière	Epaisseur : µm	X 1 : % X 2 : % …	Réf 1 Réf 2 …	Site 1 : Site 2 : …	Adresse complète 1 Adresse complète 2	Valeur 1 kg eqCO2 / kg : Valeur 2: kg eqCO2 / kg : …

Tableau 2: coefficients de pertes et casses pour les produits intermédiaires.

Etape de procédé/matériau	Quantité de matériau nécessaire à la fabrication du produit intermédiaire incluant les pertes et casses
Polysilicium, as grown	1,13 kg MG-Si/kg polycilium
Lingot, mono, as-grown	1.04 kg polySi / kg lingot *
Brique mono (ingot to brick)	1,79 kg lingot / kg brique
Plaquette (wafer),	[(perte sciage + épaisseur wafer) * densité du silicium kg brique /m² wafer
Cellule mono, multi et monolike	1,01 m² plaquette / m² cellule
Module, mono/multi, m² de cellules	1,02 m² cellule / module
Verre	1 kg verre/kg verre par module
Verre trempé	1 kg verre/kg verre par module
Feuille d'encapsulant (EVA, POE ...)	1,01 kg encapsulant/kg encapsulant par module
Feuille face arrière (PET / POE / PVF)	1,02 kg feuille arrière/kg feuille arrière par module
modules, CdTe,	Non concerné
modules, CIGS	Non concerné

Le recyclage du polysilicium des pertes et casses de la fabrication du lingot est pris en compte avec une valeur d'émission valeurs de GWPij définies dans le tableau 3 (valeur par défaut = 0 kgCO2eq/kg).

Exemple :
Considérons un module de 2,56 m² contenant 72 cellules 182x182 mm² en silicium monocristallin. L'épaisseur du wafer est de 160µm.
La masse d'encapsulant (EVA) contenu dans ce module est de 2,5 kg. La masse d'encapsulant nécessaire à la fabrication d'un module s'élève à 2,525 kg en tenant compte des pertes. On multiplie en effet 2,5 kg par le coefficient du tableau 2 égal à 1,01 kg EVA/ kg EVA dans le module
Le tableau suivant présente les résultats des quantités de composants nécessaires à la fabrication du module, incluant les pertes et casses :

Matériaux/composant	***Quantité contenue dans un module (pertes et casses négligées)***	***Quantité nécessaire à la fabrication d'un module***	***Coefficient de pertes et casses***
Encapsulant	2,5 kg	2,525 kg	1,01 kg / kg EVA
Face arrière	1,08 kg	1,10 kg	1,02 kg / kg PET
Verre	20,5 kg	20,5 kg	1,00 kg / kg Verre
Trempe	20,5 kg	20,5 kg	1,00 kg / kg Verre
Module (m²)	2,56	2,56	1
Cellules (m²)	2,38 *= 72 * 0,182 * 0,182*	2,43	1,02 x m² cellule / module
Plaquette (m²)	2,38	2,46	1,01 m² plaquette / m² cellule
Brique (kg)	0,89	1,32 $=2,46*(160+70)*2330*10^{-6}$	
Lingot mono Si (kg)	0,89	2,36	1,79 kg lingot / kg brique
Polysilicium (kg)	0,89	2,45	1,04 kg polySi / kg ingot
Silicium métallurgique (MG-Si)	0,89	2,77	1,13 kg MG-Si / kg Poly Si

Il reste ensuite à déterminer Q, quantité de composant nécessaire à la fabrication d'un kWc de module, et d'appliquer la formule 2 pour calculer G.

Tableau 3 : Valeurs des émissions de GES en CO2eq pour la fabrication des composants :
GWP = Global Warming Potential , Méthode : IPCC2021 GWP100 ans, Logiciel : Sima Pro 3.9
Base des données : Ecoinvent 3.9, Sources: CEA INES

Etape de fabrication / Matériau	Unité	Autriche	Belgique	Bulgarie	Suisse	Chypre	Republique Tchèque	Allemagne	Danemark	Estonie	Espagne	Finlande	France
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	7,73	7,11	10,74	5,22	16,89	12,25	10,06	7,21	11,96	7,82	7,34	5,73
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	29,72	25,81	48,88	13,78	88,02	58,51	44,59	26,40	56,64	30,30	27,23	17,04
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	16,52	14,74	25,28	9,24	43,17	29,68	23,32	15,01	28,83	16,79	15,39	10,73
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	0,87	0,80	1,20	0,59	1,87	1,36	1,12	0,81	1,33	0,88	0,82	0,65
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	3,72	3,44	5,08	2,59	7,86	5,76	4,77	3,48	5,63	3,76	3,54	2,82
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	20,52	19,12	27,37	14,82	41,37	30,82	25,84	19,33	30,15	20,73	19,63	15,99
Verre	kg CO2-eq/kg	1,00	1,00	1,03	0,98	1,09	1,05	1,02	1,00	1,04	1,00	1,00	0,98
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	2,69	2,65	2,88	2,54	3,25	2,97	2,84	2,66	2,95	2,70	2,67	2,57
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,71	3,67	3,90	3,56	4,27	3,99	3,86	3,68	3,97	3,72	3,69	3,59
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	20,52	20,37	21,29	19,89	22,86	21,68	21,12	20,39	21,60	20,55	20,43	20,02
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	4,96	4,75	5,99	4,10	8,10	6,51	5,76	4,78	6,41	4,99	4,82	4,27
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	25,55	22,30	41,45	12,31	73,95	49,45	37,89	22,79	47,90	26,03	23,48	15,02
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	39,73	32,89	73,23	11,87	141,65	90,06	65,72	33,93	86,80	40,75	35,38	17,56

Etape de fabrication / Matériau	Unité	Royaume-Uni	Grèce	Croatie	Hongrie	Irlande	Islande	Italie	Lituanie	Luxembourg	Lettonie	Malte	Pays-Bas
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	8,12	12,77	9,40	9,30	9,65	5,44	9,29	9,84	9,24	10,60	10,11	10,43
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	32,21	61,83	40,38	39,75	41,96	15,17	39,64	43,18	39,33	47,98	44,85	46,95
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	17,66	31,20	21,40	21,11	22,12	9,87	21,06	22,68	20,92	24,87	23,44	24,40
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	0,91	1,42	1,05	1,04	1,08	0,61	1,04	1,10	1,03	1,18	1,13	1,16
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	3,89	6,00	4,47	4,43	4,59	2,68	4,42	4,67	4,40	5,01	4,79	4,94
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	21,41	32,00	24,33	24,11	24,90	15,32	24,07	25,34	23,96	27,05	25,93	26,68
Verre	kg CO2-eq/kg	1,01	1,05	1,02	1,02	1,02	0,98	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	2,72	3,00	2,79	2,79	2,81	2,55	2,79	2,82	2,78	2,87	2,84	2,86
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,74	4,02	3,81	3,81	3,83	3,57	3,81	3,84	3,80	3,89	3,86	3,88
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	20,62	21,81	20,95	20,93	21,01	19,94	20,92	21,06	20,91	21,26	21,13	21,21
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	5,09	6,69	5,53	5,50	5,62	4,17	5,49	5,68	5,47	5,94	5,77	5,88
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	27,61	52,21	34,40	33,88	35,71	13,47	33,78	36,72	33,53	40,71	38,11	39,85
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	44,09	95,87	58,37	57,27	61,14	14,29	57,07	63,27	56,53	71,66	66,19	69,85

Etape de fabrication / Matéria	Unité	Norvège	Pologne	Portugal	Roumanie	Suède	Slovénie	Slovaquie	Chine	Japon	Corée du Sud	Malaisie	Philippines
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	5,18	15,28	8,57	9,32	5,28	8,83	9,41	15,37	12,24	12,56	14,24	14,98
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	13,54	77,81	35,08	39,89	14,15	36,74	40,43	75,21	55,27	57,34	68,02	72,72
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	9,12	38,51	18,97	21,17	9,40	19,73	21,42	38,77	29,66	30,60	35,49	37,64
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	0,59	1,70	0,96	1,04	0,60	0,99	1,05	1,71	1,36	1,40	1,58	1,66
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	2,57	7,13	4,10	4,44	2,61	4,22	4,48	7,37	5,95	6,10	6,86	7,19
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	14,73	37,71	22,44	24,16	14,95	23,03	24,35	37,91	30,78	31,52	35,34	37,02
Verre	kg CO2-eq/kg	0,98	1,08	1,01	1,02	0,98	1,01	1,02	1,08	1,04	1,05	1,06	1,07
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,066	0,079	0,071	0,071	0,067	0,071	0,072	0,059	0,055	0,055	0,057	0,058
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	2,54	3,15	2,74	2,79	2,54	2,76	2,80	3,45	3,26	3,28	3,38	3,42
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,56	4,17	3,76	3,81	3,56	3,78	3,82	4,14	3,95	3,97	4,07	4,11
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	19,88	22,45	20,74	20,93	19,90	20,81	20,95	21,97	21,17	21,26	21,68	21,87
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	4,08	7,55	5,24	5,50	4,12	5,33	5,53	7,57	6,50	6,61	7,19	7,44
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	12,11	65,47	30,00	33,99	12,61	31,38	34,44	65,92	49,36	51,08	59,95	63,85
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	11,43	123,80	49,10	57,50	12,50	52,01	58,46	124,75	89,88	93,50	112,17	120,39

Etape de fabrication / Matériau	Unité	Taiwan	Etats-Unis	Russie	Canada	Turquie	Tunisie	Vietnam	Thaïlande	Singapour	Mexique	Jordanie	Inde
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	13,32	10,08	12,72	6,97	11,34	12,00	12,31	13,49	10,40	11,92	11,23	19,40
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	62,18	41,56	58,35	21,79	49,56	53,78	55,75	63,25	43,61	53,24	48,87	100,84
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	32,82	23,39	31,07	14,35	27,05	28,98	29,88	33,31	24,33	28,73	26,73	50,49
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	1,48	1,13	1,42	0,78	1,26	1,34	1,37	1,50	1,16	1,33	1,25	2,15
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	6,44	4,98	6,17	3,58	5,55	5,85	5,99	6,52	5,13	5,81	5,50	9,19
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	33,25	25,88	31,88	18,81	28,74	30,25	30,95	33,63	26,61	30,05	28,49	47,07
Verre	kg CO2-eq/kg	1,06	1,02	1,05	0,99	1,04	1,04	1,05	1,06	1,03	1,04	1,03	1,12
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,056	0,052	0,056	0,049	0,054	0,055	0,055	0,057	0,053	0,055	0,054	0,064
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,32	3,13	3,29	2,94	3,20	3,24	3,26	3,33	3,15	3,24	3,20	3,70
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	4,01	3,82	3,98	3,63	3,89	3,93	3,95	4,02	3,84	3,93	3,89	4,39
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	21,45	20,62	21,30	19,83	20,94	21,11	21,19	21,49	20,71	21,09	20,92	23,00
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	6,87	5,76	6,67	4,70	6,19	6,42	6,53	6,93	5,87	6,39	6,16	8,96
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	55,10	37,98	51,92	21,56	44,62	48,13	49,77	55,99	39,69	47,68	44,05	87,20
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	101,97	65,92	95,28	31,35	79,90	87,28	90,73	103,84	69,51	86,34	78,69	169,55

Etape de fabrication / Matériau	Unité	Afrique du Sud	Qatar	Arabie saoudite	UAE	Algérie	Maroc	Egypte	Brésil	Ukraine	Macédoine du Nord	Serbie
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	16,77	11,36	16,53	11,24	12,44	14,91	12,21	6,72	10,85	15,33	15,22
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	84,12	49,68	82,59	48,91	56,57	72,31	55,12	20,15	46,44	78,09	74,27
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	42,85	27,10	42,15	26,75	30,25	37,45	29,59	13,61	25,62	38,64	38,34
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	1,86	1,27	1,83	1,25	1,38	1,66	1,36	0,76	1,21	1,70	1,69
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	8,00	5,56	7,89	5,50	6,05	7,16	5,94	3,46	5,33	7,15	7,30
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	41,10	28,78	40,55	28,51	31,24	36,87	30,72	18,22	27,62	37,82	37,57
Verre	kg CO2-eq/kg	1,09	1,04	1,09	1,03	1,05	1,07	1,04	0,99	1,03	1,08	1,07
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,06
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,53	3,20	3,52	3,20	3,27	3,42	3,26	2,92	3,17	3,16	3,44
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	4,22	3,89	4,21	3,89	3,96	4,11	3,95	3,61	3,86	4,18	4,13
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	22,33	20,95	22,27	20,92	21,22	21,85	21,17	19,77	20,82	22,46	21,93
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	8,05	6,20	7,97	6,16	6,57	7,42	6,49	4,61	6,03	7,56	7,52
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	73,32	44,72	72,05	44,09	50,44	63,52	49,24	20,21	42,03	65,71	65,14
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	140,33	80,11	137,65	78,78	92,16	119,68	89,62	28,49	74,45	124,29	123,10

Etape de fabrication / Matériau	Unité	Autre pays d'Europe	Autre pays du Monde
Silicium Métallurgique MG-Si	kg CO2-eq/kg	8,60	12,67
polySi, Siemens process	kg CO2-eq/kg	35,29	58,03
Réalisation du Lingot, mono	kg CO2-eq/kg	19,07	30,92
Réalisation de la brique	kg CO2-eq/kg	0,96	1,41
Fabrication des plaquettes mono	kg CO2-eq/m²	4,11	6,15
Réalisation des cellules	Kg CO2-eq/m²	22,51	31,77
Verre	kg CO2-eq/kg	1,01	1,05
Verre trempé	kg CO2-eq/kg	0,07	0,06
Encapsulant (EVA ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	2,75	3,28
Feuille face arrière (PET ou équivalent)	kg CO2-eq/kg	3,77	3,97
Feuille face arrière (PVF)	kg CO2-eq/kg	20,75	21,28
Module cristallin	kg CO2-eq/m² module	5,26	6,65
Fabrication module CdTe,	kg CO2-eq/ m² module	30,17	51,66
Fabrication module CIGS	kg CO2-eq/ m² module	49,46	94,72

B. Modalités d’application du critère de résilience

La localisation du site d’assemblage du module est vérifiée dans le cadre de l’évaluation carbone simplifiée, notamment par la fourniture du rapport d’audit du site réalisé par une tierce partie accréditée selon la norme NF EN ISO/IEC 17065 : 2012 ainsi que d'une accréditation selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 : 2017 portant sur le produit module photovoltaïque (séries de normes NF EN IEC 61215 et NF EN IEC 61730 ou toutes autres méthodes équivalentes), délivrées par l'instance nationale d'accréditation, ou l'instance nationale d'accréditation d'un autre Etat membre de l'Union européenne, membre de la coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux.

Les pays tiers représentant plus de 50 % de l’approvisionnement de l’Union européenne en panneaux photovoltaïques sont les pays tels que définis par le tableau 1 de la communication C/2025/9034 de la Commission européenne ou ses modifications ultérieures.

Les pays membres de l’Espace économique européen sont : les pays membres de l’Union européenne ainsi que l’Islande, le Liechtenstein et la Norvège.

La fabrication de la cellule correspond à l’ensemble des étapes du processus de transformation de la plaquette de silicium jusqu’à la cellule, qui doit inclure les étapes du contrôle qualité des plaquettes entrantes jusqu’à métallisation et les mesures de puissances des cellules.

L’assemblage du module correspond à l’ensemble des opérations de soudage des cellules, d’assemblage et de lamination des cellules, et de tests électriques des modules.