

Roger Cadiergues

MémoCad nB41.a

ÉVALUER LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

SOMMAIRE

- nB41.1.** La norme de référence
- nB41.2.** Les paramètres climatiques
- nB41.3.** Les paramètres technologiques
- nB41.4.** Le classement des installations
- nB41.5.** La palette des tarifs
- nB41.6.** Le texte officiel de référence



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

nB41.1. LA NORME DE RÉFÉRENCE

LA NORME DE RÉFÉRENCE

Il existe une norme sur la calcul des performances énergétiques des systèmes photovoltaïques, curieusement classée dans les «systèmes de chauffage» :

- . NF EN 15316-4-6 (Août 2008) Systèmes de chauffage dans les bâtiments Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes Partie 4-6 : Systèmes de génération de chaleur, systèmes photovoltaïques.

Cette norme est préfacée comme suit (Introduction) : «La présente Norme européenne constitue la partie spécifique portant sur les systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments d'une série de normes EN 15316 sur les méthodes de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes de chauffage des locaux et des systèmes de production d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments.

La présente Norme européenne fournit une méthode de calcul de la production d'électricité des systèmes photovoltaïques intégrés aux bâtiments. Le calcul se base sur les caractéristiques de performance des produits données dans les normes de produits, ainsi que sur d'autres caractéristiques requises pour évaluer la performance des produits comme éléments inclus dans le système».

LA FORMULE DE BASE

La norme propose que l'énergie fournie W_{pv} [kWh/an] soit donnée par la formule générale suivante :

$$W_{pv} = E_{sol} \cdot P_{cr} \cdot f_{perf}$$

Les différents facteurs intervenant dans cette formule sont les suivants :

- . E_{sol} [kWh/m² an] est l'irradiation solaire annuelle,
- . P_{cr} [kW] est la puissance de crête du capteur en cause,
- . f_{perf} est le coefficient de performance énergétique du système.

Il est fréquent que l'on ait quelques difficultés à fixer ces paramètres : dans ce cas on peut utiliser les valeurs indiquées plus loin, par la norme, en données purement informatives.

L'IRRADIATION SOLAIRE ANNUELLE

Le paramètre E_{sol} [kWh/m² an] dépend :

- . du plus ou moins fort ensoleillement annuel du site,
- . de l'orientation et de l'inclinaison du capteur.

En l'absence de données plus précises la norme (version française) propose les valeurs indiquées à la fiche **n B41.2** suivante.

LA PUISSANCE DE CRÊTE

La puissance de crête du capteur photovoltaïque, P_{cr} [kW] est, normalement, indiquée par le fournisseur du panneau, les essais ayant été effectués dans des conditions normalisées. En l'absence de cette donnée on peut en faire une évaluation en utilisant la valeur indiquée à la fiche **mC31.3** suivante.

Celle-ci tient compte :

- . du type de cellule photovoltaïque utilisé,
- . et de la surface du capteur.

LA PERFORMANCE DU SYSTÈME

Le facteur f_{perf} (le coefficient de performance énergétique du système) intervenant dans la formule générale ci-dessus dépend :

- . du la performance du système de conversion du courant continu issu des cellules en courant alternatif,
- . de la température (réelle, mais moyenne annuelle) à laquelle fonctionne le capteur,
- . de l'intégration de ce capteur dans le bâti.

En l'absence de données plus précises on peut en faire une évaluation en utilisant la valeur indiquée à la fiche **mC31.3** suivante.

ATTENTION : les symboles de grandeur adoptés dans ce livret ne sont pas ceux de la norme.

nB41.2. LES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

LES ZONES SOLAIRES

L'énergie solaire reçue annuellement par le capteur dépend de la région. Pour le calcul la France est découpée en cinq zones (table ci-dessous).

Zone	Régions administratives
PV1	Provence Alpes Côte d'Azur, Languedoc Roussillon
PV2	Roussillon
PV3	Roussillon
PV4	Roussillon
PV5	Nord Pas de Calais, Hte Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne Ardenne, Lorraine, Alsace

L'IRRADIATION SOLAIRE

L'énergie surfacique reçue annuellement par le capteur E [kWh/m² an] dépend :

- . de la zone solaire,
- . de l'orientation et de l'inclinaison du capteur,

la formule de calcul étant la suivante : $E = f_c E_0$

E_0 [kWh/m² an] étant l'irradiation horizontale et f_c un facteur dépendant de l'orientation et de l'inclinaison.

L'IRRADIATION HORIZONTALE

L'irradiation horizontale E_0 [kWh/m² an] dépend de la zone (voir table ci-dessous).

Zone :	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5
E_0 [kWh/m ² an]	1500	1350	1250	1150	1050

LE FACTEUR D'INCLINAISON ET D'ORIENTATION

Ce coefficient f_c possède les valeurs indiquées au tableau suivant, selon la zone

Valeurs de f_c pour PV1					
Inclinaison	Orientation				
	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
0 deg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30 deg	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45 deg	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60 deg	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90 deg	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

Valeurs de f_c pour PV2					
Inclinaison	Orientation				
	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
0 deg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30 deg	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45 deg	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60 deg	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90 deg	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

Valeurs de f_c pour PV3					
Inclinaison	Orientation				
	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
0 deg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30 deg	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45 deg	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60 deg	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90 deg	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

Valeurs de f_c pour PV4					
Inclinaison	Orientation				
	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
0 deg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30 deg	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45 deg	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60 deg	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90 deg	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

Valeurs de f_c pour PV5					
Inclinaison	Orientation				
	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
0 deg	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30 deg	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
45 deg	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
60 deg	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
90 deg	0,59	0,74	0,77	0,74	0,59

nB41.3. LES PARAMÈTRES TECHNOLOGIQUES

L'ÉVALUATION DE LA PUISSANCE DE CRÊTE

Pour évaluer, en l'absence de données certifiées, la **puissance de crête** d'un panneau photovoltaïque vous pouvez utiliser les données informatives retenues par la norme NF EN 15316-4-6, données regroupées dans le tableau suivant et basées sur la formule :

$$P_{cr} = K_{cr} A$$

- . P_{cr} [kW] étant la puissance de crête estimée,
- . K_{cr} [kW/m²] le coefficient de puissance de crête fourni par la table ci-dessous,
- . A [m²] étant la surface du capteur.

Coefficients de puissance de crête (K_{cr})	
Matériau de base des cellules	K_{cr} [kW/m²]
silicium monocristallin (1)	0,12 à 0,18
silicium polycristallin (1)	0,10 à 0,16
silicium amorphe (couche mince)	0,04 à 0,08
autres couches minces	0,035
couche mince de diséléniure de cuivre-gallium-indium	0,105
couche mince de tellure de cadmium	0,095
(1) avec densité de cellules photovoltaïques d'au moins 80 %	

L'ÉVALUATION DU FACTEUR DE PERFORMANCE

En l'absence de données mieux justifiées, le facteur de performance du système peut être pris égal aux valeurs indiquées dans la table ci-dessous.

Facteur de performance (f_{perf})	
Conditions d'installation	f_{perf} [-]
modules non ventilés	0,70
modules ventilés ou faiblement ventilés	0,75
modules très ventilés ou à ventilation forcée	0,80

nD41.4. LE CLASSEMENT DES INSTALLATIONS

A. LES INSTALLATIONS INTÉGRÉES AU BÂTI

Ne peuvent être considérées comme «parfaitement» intégrées au bâti (tarif maximum) que les installations respectant la totalité des règles suivantes.

1. Le système photovoltaïque ne peut être installé :
 - . que sur un bâtiment clos, clos en particulier sur les faces latérales, ce bâtiment pouvant abriter des personnes, des animaux, des biens ou servir à des activités réelles,
 - . ce bâtiment existant depuis au moins deux ans (sauf pour les bâtiments d'habitation).
2. Le système photovoltaïque doit :
 - . ou bien être installé sur le plan de la toiture, ou (sur demande expresse) parallèle à ce plan, les modules faisant alors partie intégrante du système d'étanchéité et en constituant même l'élément principal dans le cas de modules rigides,
 - . ou bien être installé en mur rideau, en allège, en bardage, en brise-soleil, ou en garde-corps (de fenêtre, de balcon ou de terrasse).
3. Point important : dans cette catégorie d'installations le système photovoltaïque remplace littéralement des éléments constructifs : le démontage du module photovoltaïque (ou du film) ne peut se faire sans nuire à la fonction d'étanchéité ni aux fonctionnalités fondamentales du bâtiment. C'est donc une intervention exigeant de sérieux travaux.

B. LES INSTALLATIONS D'INTÉGRATION SIMPLIFIÉE

Ne peuvent bénéficier du tarif ci-dessus, mais bénéficient d'un tarif un peu plus faible, les installations dites d'intégration simplifiée au bâti, dont la définition réglementaire - très délicate - peut donner lieu à des litiges.

Schématiquement la différence essentielle avec la catégorie **A** tient aux conséquences du démontage, lequel n'entraîne pas alors, obligatoirement, la perte d'étanchéité ou de fonctionnalité du bâtiment. Ce type de situation est particulièrement adapté aux bâtiments commerciaux, industriels ou agricoles, bâtiments pour lesquels l'intégration totale (A) n'est pas toujours possible.

C. LES INSTALLATIONS NON INTÉGRÉES

Il s'agit des installations ne bénéficiant pas des avantages précédents, n'en respectant pas les obligations. Ce type de réalisation est souvent dit «d'**installations au sol**», bien que ce ne soit pas rigoureusement exact dans l'optique réglementaire actuelle, moins contraignante mais qui fait la distinction entre deux situations géographiques :

- . les *installations métropolitaines continentales*, classées en deux catégories tarifaires selon la puissance (voir fiche suivante),
- . et les installations réalisées en *Corse* et *outre-mer*.

nD41.5. LA PALETTE DES TARIFS

Le choix des solutions photovoltaïques dépend fortement du tarif d'achat de l'électricité produite.

1. Pour les installations dites «*intégrées au bâti*» :
 - . 0,58 €/kWh pour les bâtiments d'habitation, d'enseignement ou de santé,
 - . 0,50 €/kWh pour les autres types de bâtiments.
2. Pour les installations dites «*d'intégration simplifiée*» :
 - . 0,42 €/kWh.
3. Pour les autres installations (dites «*non intégrées*») :
 - . en Corse et dans les territoires d'outre-mer 0,40 €/kWh,
 - . ailleurs (en France continentale)
 - 0,314 €/kWh pour les installations ≤ 250 kW,
 - un régime plus compliqué pour les autres (> 250 kW).

N.B. Pour le classement des installations voir la fiche suivante.

nD41.6. LE TEXTE OFFICIEL DE RÉFÉRENCE

6A. Arrêté du 12 janvier 2010 (modifié par l'arrêté du 15) Conditions d'achat de l'électricité produite dans les installations utilisant l'énergie radiative du soleil

Article 1. Le présent arrêté fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil moyennant des technologies photovoltaïques ou thermodynamiques ... *(suite non reproduite)*

Article 2. L'installation du producteur est décrite dans le contrat d'achat, qui précise ses caractéristiques principales

1. Lieu ...

2. Nature de l'installation :

- . installation bénéficiant de la prime d'intégration au bâti, installation bénéficiant de la prime d'installation simplifiée au bâti ou autre installation ;
- . pour les installations au sol : installation fixe ou pivotante sur un ou deux axes permettant le suivi de la course du soleil ;

3. Nature de l'exploitation : vente en surplus ou vente en totalité ;

4. Puissance crête totale installée pour les générateurs photovoltaïques telle que définie par les normes NF EN 61215 et NF EN 61646 ou puissance électrique maximale installée dans les autres cas. La puissance crête totale installée ne peut être inférieure à la puissance installée telle que définie dans l'article 1 du décret ... du 7 septembre 2000 ... ;

5. Tension de livraison.

Article 3. La date de demande complète de raccordement au réseau public par le producteur détermine les tarifs applicables à une installation. La demande complète doit comporter les éléments définis à l'article 2 ainsi que les éléments précisés dans la documentation technique de référence du gestionnaire de réseau public auquel l'installation est raccordée. Les tarifs applicables sont définis à l'annexe 1 du présent arrêté. Pour les installations utilisant des techniques photovoltaïques, les tarifs peuvent inclure une prime d'intégration au bâti ou une prime d'intégration simplifiée au bâti. Les règles d'éligibilité à ces primes sont définies à l'annexe 2 du présent arrêté. Les définitions relatives à une installation photovoltaïque pour l'application des règles d'éligibilité sont à l'annexe 4 du présent arrêté.

Article 4. L'énergie annuelle susceptible d'être achetée, calculée à partir de la date anniversaire de prise d'effet du contrat d'achat, est plafonnée. Le plafond est défini comme le produit de la puissance crête installée par une durée de 2200 heures si l'installation est située en métropole continentale ou de 2600 heures dans les autres cas. Ce plafonnement ne s'applique pas aux installations solaires thermodynamiques.

L'énergie produite au-delà des plafonds définis à l'alinéa précédent est rémunérée à 0,05 €/kWh... *(suite non reproduite)*

Article 5.. (début d'article non reproduit : signature de contrats «anciens»)

La date de mise en service de l'installation correspond à la date de mise en service de son raccordement au réseau public. Le contrat d'achat est conclu pour une durée de vingt ans à compter de la mise en service de l'installation. Cette mise en service doit avoir lieu dans un délai de vingt-quatre mois à compter de la date complète de raccordement au réseau public par le producteur. En cas de dépassement de ce délai, la durée du contrat d'achat est réduite d'autant.

Articles 6 et 7 ... (articles non reproduits : contrats «anciens»)

Article 8 ... (article non reproduit : indexation des tarifs)

Article 9 ... (article non reproduit : chargé de l'exécution)

ANNEXE 1. Tarifs d'achat

1. L'énergie active fournie par le producteur est facturée à l'acheteur sur la base des tarifs définis ci-dessous. Il sont exprimés en c€/kWh hors TVA.

2. Pour les installations bénéficiant de la prime d'intégration au bâti situées sur un bâtiment à usage principal d'habitation ... *(partie de texte non reproduite)*, d'enseignement ou de santé, le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à 50 c€/kWh.

3. Pour les installations bénéficiant de la prime d'intégration simplifiée au bâti, le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à 42 c€/kWh.

4. Pour les autres installations le tarif applicable à l'énergie active fournie est égal à :

4.1. En Corse, dans les départements d'outre-mer et dans la collectivité territoriale de Saint-Pierre-et-Miquelon et à Mayotte : 40 c€/kWh ;

4.2. En métropole continentale : $(T * R)$, formule dans laquelle :

4.2.1. $T = 31,4$ c€/kWh ;

4.2.2. Pour les installations d'une puissance crête inférieure ou égale à 250 kilowatts crête, la valeur de R est égale à 1 ;

4.2.3. Pour les installations d'une puissance crête supérieure à 250 kilowatts crête, la valeur de R est définie à l'annexe 3 du présent arrêté.

5. Pour les demandes complètes de raccordement au réseau public ... déposées après le 31 décembre 2011, les tarifs mentionnés aux paragraphes 2, 3 et 4 de cette annexe seront indexés au 1er janvier 2012, puis au 1er janvier de chaque année suivante par multiplication de la valeur du tarif de la période précédente avec le coefficient $(1 - D)$, où D est égal à 10 %.

ANNEXE 2. Règles d'éligibilité à la prime d'intégration au bâti et à la prime d'intégration simplifiée

1. Une installation photovoltaïque est éligible à la prime d'intégration au bâti si et seulement si elle remplit toutes les conditions suivantes :

1.1. Le système photovoltaïque est installé sur la toiture d'un bâtiment clos (sur toutes les faces latérales) et couvert, assurant la protection des personnes, des animaux, des biens ou des activités. A l'exception des bâtiments à usage principal d'habitation, le système photovoltaïque est installé au moins deux ans après la date d'achèvement du bâtiment. Le système photovoltaïque est installé dans le plan de ladite toiture.

1.2. Le système photovoltaïque remplace les éléments du bâtiment qui assurent le clos et couvert, et assure la fonction d'étanchéité. Après installation, le démontage du module photovoltaïque ou du film photovoltaïque ne peut se faire sans nuire à la fonction d'étanchéité assurée par le système photovoltaïque ou rendre le bâtiment impropre à l'usage.

1.3. Pour les systèmes photovoltaïques composés de modules rigides, les modules constituent l'élément principal d'étanchéité du système.

1.4. Pour les systèmes photovoltaïques composés de films souples, l'assemblage est effectué en usine ou sur site. L'assemblage sur site est effectué dans le cadre d'un contrat de travaux uniques.

2. Par exception aux dispositions du paragraphe 1, une installation photovoltaïque qui est composée de modules rigides et pour laquelle le producteur fait la demande complète de raccordement ... (*texte supprimé*) avant le 1er janvier 2011 est éligible à la prime d'intégration au bâti si le système photovoltaïque remplit les conditions des paragraphes 1.1, première et deuxième phrase, et 1.2, première phrase, et est parallèle au plan de la toiture.

3. Par exception aux dispositions du paragraphe 1, une installation photovoltaïque est éligible à la prime d'intégration au bâti si le système photovoltaïque est installé sur un bâtiment et remplit, outre les conditions du paragraphe 1.1, première et deuxième phrase, au moins l'une des fonctions suivantes :

3.1. Allège ;

3.2. Bardage ;

3.3. Brise-soleil ;

3.4. Garde-corps de fenêtre, de balcon ou de terrasse ;

3.5. Mur-rideau.

4. Une installation photovoltaïque est éligible à la prime d'intégration simplifiée si et si seulement si elle remplit toutes les conditions suivantes :

4.1. Le système photovoltaïque est installé sur la toiture d'un bâtiment assurant la protection des personnes, des animaux, des biens ou des activités. Il est parallèle au plan de ladite toiture.

4.2. Le système photovoltaïque remplace des éléments du bâtiment qui assurent le clos et couvert, et assure la fonction d'étanchéité.

5. Par exception aux dispositions du paragraphe 4, à compter du 1er janvier 2011, une installation photovoltaïque d'une puissance crête inférieure ou égale à 3 kilowatts crête est éligible à la prime d'intégration simplifiée au bâti si le système photovoltaïque remplit les conditions des paragraphes 1.1 et 1.2, première phrase.

6. Par exception aux dispositions du paragraphe 4, à compter du 1er janvier 2011, une installation photovoltaïque est éligible à la prime d'intégration simplifiée au bâti si le système photovoltaïque est installé sur un bâtiment assurant la protection des personnes, des animaux, des biens ou des activités et remplit au moins l'une des fonctions suivantes :

6.1. Allège ;

6.2. Bardage ;

6.3. Brise-soleil ;

6.4. Garde-corps de fenêtre, de balcon ou de terrasse ;

6.5. Mur-rideau.

7. Pour bénéficier de la prime d'intégration au bâti ou de la prime d'intégration simplifiée au bâti, le producteur fournit à l'acheteur une attestation sur l'honneur certifiant que :

- l'intégration au bâti ou l'intégration simplifiée au bâti ont été réalisées dans le respect des règles d'éligibilité citées ci-dessus ;

- ... (*partie de texte de rédaction douteuse, inutile*) les ouvrages exécutés pour incorporer l'installation photovoltaïque dans le bâtiment ont été conçus et réalisés de manière à satisfaire l'ensemble des exigences auxquelles ils sont soumis, notamment les règles de conception et de réalisation visées par des normes NF DTU, des règles professionnelles ou des évaluations techniques (avis technique, dossier technique d'application, agrément technique européen, appréciation technique expérimentale, Pass'Innovation, enquête de technique nouvelle), ou toutes autres règles équivalentes d'autres pays membres de l'Espace économique européen. ... (*suite non reproduite*).

ANNEXE 3. Valeurs du coefficient R

(*non reproduite, voir fiche mC32.5*)

ANNEXE 4. Définitions

. **Système photovoltaïque :**

Un système photovoltaïque est un procédé ou une solution technique de construction, rigide ou souple, composé d'un module ou d'un film photovoltaïque et d'éléments non productifs assurant des fonctions de fixation aux éléments mitoyens de résistance mécanique ou d'étanchéité. L'ensemble est conçu spécifiquement pour la production d'électricité d'origine photovoltaïque.

. **Installation photovoltaïque :**

L'installation photovoltaïque est un ensemble composé du système photovoltaïque et des éléments assurant la transmission et la transformation du courant électrique (câblage, onduleurs, etc.).

. **Installation solaire thermodynamique :**

Une installation solaire thermodynamique est un ensemble d'éléments techniques permettant de transformer, à l'aide de capteurs, l'énergie rayonnée par le soleil en chaleur, puis celle-ci en énergie mécanique et électrique à travers un cycle thermodynamique.

