

Édition 2023

Guide photovoltaïque

Les clés de la réussite



Soutenu par



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Table des matières

I. Pourquoi ce guide existe-t-il ?	3
II. Pourquoi devrais-je envisager un projet photovoltaïque chez moi ?	4 - 5
1. Vous souhaitez, et pouvez, investir dans les Énergies Renouvelables	4
2. Vous ne souhaitez, ou ne pouvez, pas investir dans les EnR	5
III. Quels éléments composent une centrale photovoltaïque ?	6 - 17
1. Schéma général	6
2. Les modules / panneaux	7
3. Les onduleurs	11
4. Le système d'intégration	15
5. Recyclage et analyse de cycle de vie	16
IV. Quelles influences du photovoltaïque sur le bâtiment et son contenu ?	18-24
1. L'influence sur le projet bâtiment ou le bâtiment existant	18
2. Réglementations et responsabilités	21
3. Les dangers liés à la présence du photovoltaïque	23
IV. Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?	25-47
1. Le productible	25
2. Le coût de l'installation	29
3. Le raccordement	31
4. La valorisation de l'énergie	33
5. Les charges de fonctionnement	44
IV. Comment s'assurer du sérieux des propositions commerciales ?	48-49
1. Les qualifications	48
2. Les devis et modèles économiques des installateurs	49
— Contributeurs	50
— Annuaire des Chambres d'agriculture	51

Pourquoi ce guide existe-t-il ?

Le photovoltaïque (PV) est aujourd'hui une filière mature en expansion. Le contrat d'obligation d'achat sur 20 ans signé avec EDF Obligation d'Achat (OA), l'augmentation permanente du coût de l'énergie, la durée de vie des modules pouvant aller jusqu'à 40 ans, sont autant d'arguments en faveur de son développement et de son intérêt financier et environnemental.

Bien que la filière photovoltaïque bénéficie d'un recul intéressant et qu'elle se soit largement « assainie », il restera important de bien étudier les propositions qui vous seront faites avant de vous lancer dans ce type d'investissement.

Grâce à ce document vous pourrez envisager un investissement dans le photovoltaïque, en autoconsommation ou vente en totalité de l'énergie, avec plus de cartes en main pour comprendre et discuter les propositions faites par les installateurs. Et ainsi faire un choix adapté à son projet afin d'atteindre une rentabilité optimale.

Le photovoltaïque est une activité industrielle et commerciale au regard du type de revenu qu'il génère. Cependant, l'agriculture est intégrée à cette filière grâce à une dérogation lui permettant par exemple d'inclure ces revenus photovoltaïques au Bénéfice Agricole sous certaines conditions.

Cette dérogation permet également le portage d'un projet photovoltaïque par la plupart des formes juridiques d'entreprise (GAEC, GFA, individuel...).

Nous détaillerons peu les aspects juridiques et fiscaux dans ce guide. Chaque cas est particulier et nécessite un suivi individuel. Nous vous conseillons vivement de vous faire accompagner par votre conseiller de gestion sur ces points précis.

De manière générale, quel que soit le domaine, nous vous conseillons de consulter au moins trois entreprises afin de pouvoir comparer leurs offres (prix, matériel et garanties proposées, modèle économique, ...) et leurs points de vue sur votre projet (puissance, état de la charpente, raccordement, ...).

Malgré les informations contenues dans ce guide, le photovoltaïque reste un sujet complexe pour lequel vous pourriez avoir besoin d'un appui supplémentaire. Les Chambres d'agriculture départementales d'Auvergne-Rhône-Alpes vous proposent un service de conseil pour vous accompagner dans l'analyse de vos projets photovoltaïques (voir la page contact en fin de document).

Notre état d'esprit, étudiez avec attention votre projet maintenant, et vous serez tranquille pendant 30 ans !
Bonne lecture !

L'équipe énergie des Chambres d'agriculture d'Auvergne-Rhône-Alpes

Notre conseil est neutre et indépendant de tout partenariat avec des installateurs.

Il se base sur :

- nos connaissances et compétences respectives au sein de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, mises en commun très régulièrement lors de réunions dédiées
- l'expertise mise en commun par le réseau national des conseillers énergie des Chambres d'agriculture
- les retours d'expérience des agriculteurs disposant de centrales
- les nombreux échanges que nous avons avec les installateurs et les bureaux d'étude spécialisés du territoire (AURA)
- une veille permanente sur l'actualité de la filière et les études qui sont menées

Pourquoi devrais-je envisager un projet photovoltaïque chez moi ?

1. Vous souhaitez, et pouvez, investir dans les Énergies Renouvelables (EnR)

1.1 Vous disposez de grandes toitures existantes bien orientées et en bon état : Les centrales photovoltaïques peuvent s'installer sur de nombreux types de couvertures et d'orientations. Tuiles, bac-acier ou encore fibrociment disposent de solutions techniques éprouvées permettant l'installation de panneaux photovoltaïques. Le Sud n'a plus le monopole, Est et Ouest assurent aussi la rentabilité. Un projet photovoltaïque optimisera ces toitures que l'on peut considérer comme « prêtes à l'emploi » ou « PV-ready ».

1.2 La couverture d'un de vos bâtiments est en mauvais état: Le photovoltaïque peut être une opportunité d'amortir le coût de cette nouvelle couverture.

En effet la centrale photovoltaïque peut, soit être fournie avec une couverture (classiquement du bac-acier) c'est-à-dire en intégration simplifiée au bâti (voir page 15), soit ce seront les panneaux qui joueront le rôle de couverture. Dans ce cas on parle d'intégration au bâti (même page). Les bénéfices engendrés par la vente d'énergie devraient permettre, à terme, de couvrir l'investissement global.

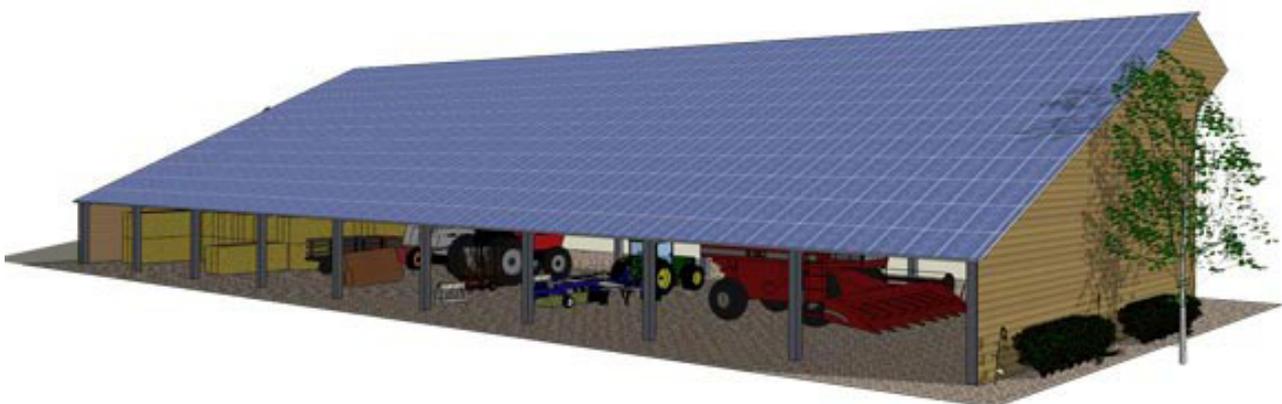
1.3 Vous avez besoin, pour votre activité agricole, d'un nouveau bâtiment : l'installation de photovoltaïque vous permettra de le financer partiellement.

1.4 Vous avez une importante charge d'exploitation liée à la consommation électrique :

Le principe « d'autoconsommation photovoltaïque » est un type de contrat souscrit auprès d'EDF Obligation d'Achat (OA). Ce contrat vous permet de réduire vos charges électriques en consommant vos propres kilo-Watt-heure (kWh).

Initialement envisagés que dans des cas très particuliers, ces contrats sont de plus en plus prisés et intéressants du fait de l'augmentation du coût de l'électricité et de la baisse du prix des centrales, soit en conséquence, de la baisse du coût de production de l'électricité PV. À condition d'avoir un investissement raisonnable, une centrale photovoltaïque vous permettra de sécuriser vos kWh autoconsommés à un « prix » intéressant.

L'autoconsommation, notamment en petite puissance, est un sujet complexe. Il est important de bien préparer ce projet (voir page 37).



Pourquoi devrais-je envisager un projet photovoltaïque chez moi ?

2. Vous ne souhaitez, ou ne pouvez, pas investir dans les Énergies Renouvelables (EnR)

2.1 Vous disposez de grandes toitures existantes bien orientées avec une couverture en plus ou moins bon état :

Certains installateurs proposent de louer votre toiture pour y installer une centrale photovoltaïque. Le bâtiment est à vous, la centrale photovoltaïque, ainsi que sa gestion et les revenus, à l'installateur. La rémunération est généralement un loyer versé annuellement au prorata de la surface de toiture mise à disposition, ou sous forme d'une soulte en début de bail. Les conditions de réalisation de cette centrale (orientation, distance de raccordement, état de la toiture, ...), peuvent influencer le montant du loyer/de la soulte et les conditions de contractualisation. La contractualisation est en général sous la forme d'un bail emphytéotique.

Cette solution, qui peut paraître alléchante sur le papier, nécessite cependant d'être vigilant sur le contenu du bail qui vous liera pendant 20 à 30 ans (ou plus) avec une entreprise privée. **Le point de vue d'un juriste est recommandé.**

2.2 Vous avez besoin, pour votre activité agricole, d'un nouveau bâtiment :

Vous avez la possibilité de mettre à disposition une partie de votre foncier à un installateur/investisseur. Cette société finance et construit tout ou partie d'un bâtiment qui vous est mis à votre disposition. Le bâtiment comprend une centrale photovoltaïque en propriété de l'investisseur, avec laquelle il se rémunère. Des compléments de fond peuvent vous être demandés.

Généralement, l'ossature, la couverture et le bardage sont à la charge de l'investisseur. Le terrassement et l'aménagement intérieur sont à votre charge. Les bâtiments proposés sont souvent standardisés. La structure fournie par le tiers investisseur ne peut généralement pas servir de support pour l'aménagement intérieur (voir contrat).

Les conditions de réalisation du bâtiment et de la centrale peuvent amener à des restes à charge pour l'exploitation. Ces coûts sont une sorte de compensation pour l'équilibre économique du projet pour l'installateur. Une distance de raccordement importante, une mauvaise orientation, ou encore des demandes de modification du bâtiment par rapport au standard peuvent augmenter ces restes à charge.

Même remarque que précédemment, la vigilance est de rigueur quant aux contrats proposés (durée, reste à charge, clauses diverses, ...).

2.3 Un tel investissement vous fait peur ou la banque ne souhaite pas financer votre projet individuel

: Sachez qu'il existe, partout en France, des collectifs d'agriculteurs ayant créé des sociétés collectives photovoltaïques afin de faciliter le financement des centrales et de diluer le risque porté par chacun.

2.4 Vous disposez de toitures existantes et vous souhaitez mettre à disposition celle-ci pour une action locale :

Un grand nombre de territoires ont vu émerger des sociétés citoyennes d'investissement dans le photovoltaïque. En échange d'un loyer ou pour l'euro symbolique (cela dépend de la politique de la société) ces entités peuvent investir chez vous pour installer du photovoltaïque. Libre à vous, en plus de la mise à disposition, d'investir dans cette société citoyenne.

En conclusion, quel que soit votre projet et votre situation, toutes ces solutions présentent des avantages et des inconvénients. Il convient de sécuriser vos hypothèses.

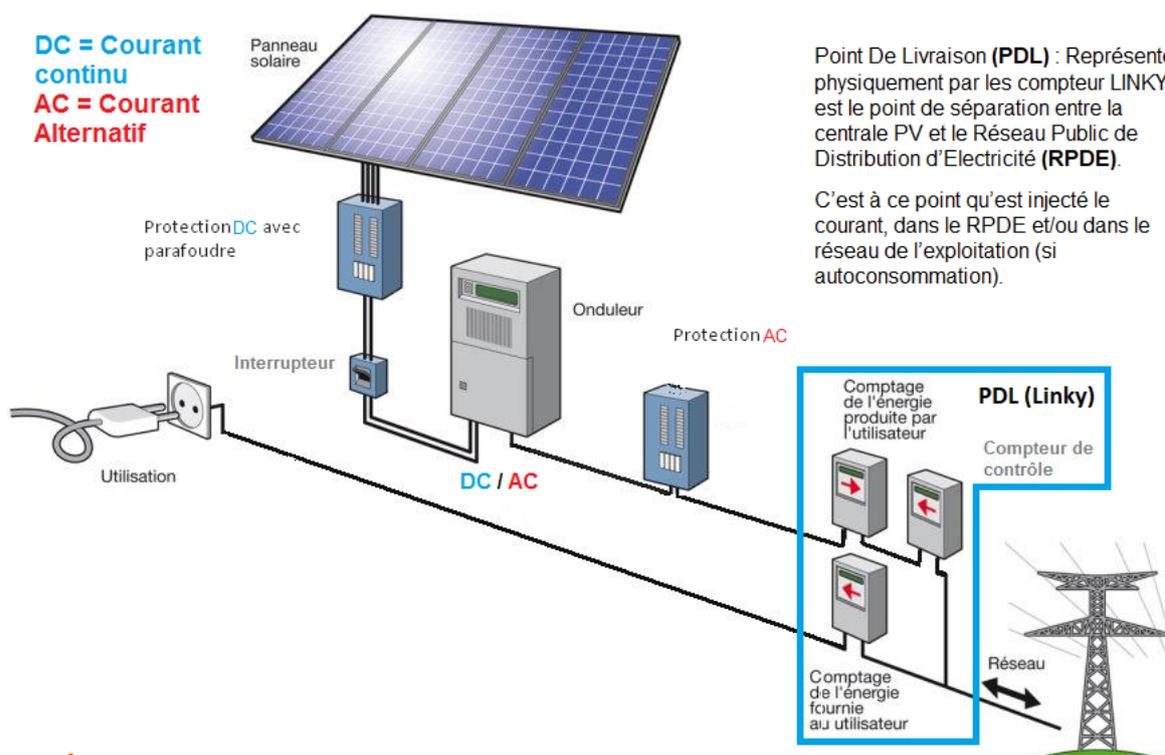
Quels éléments composent une centrale photovoltaïque?

1. Schéma général

Le photovoltaïque est une technologie électrique relativement simple. Ce qui explique en partie l'importante fiabilité constaté depuis maintenant plusieurs dizaines d'années sur des sites expérimentaux, et plus récemment sur les nombreuses centrales réalisées. Formes et support sont également très variés (cellule souple, pose verticale, sur l'eau, en forme de fleur, ...).



L'illustration ci-dessous présente schématiquement les principaux éléments constituant une centrale photovoltaïque, qui seront, pour les plus importants d'entre eux, présentés en détail dans les pages suivantes.



À NOTER

Toutes les centrales ne sont pas identiques. Le matériel, les marques, les garanties, peuvent être très variables. Difficile pour une personne dont ce n'est pas le métier de s'y retrouver et de comparer les offres !

Toute centrale doit cependant être réalisée conformément aux exigences du guide UTE C15-712.

Quels éléments composent une centrale photovoltaïque?

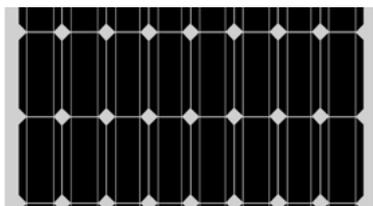
2. Les modules ou « les panneaux »

Les modules photovoltaïques, ou plus couramment appelé « panneaux photovoltaïques », peuvent avoir des caractéristiques bien différentes. Ils se différencient sur plusieurs points, à savoir :

2.1 Les cellules

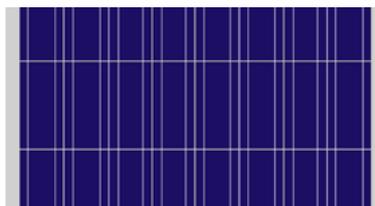
Les cellules sont les sous-unités d'un module où se crée l'électricité. Elles peuvent être de formes variées selon le besoin, mais sont classiquement carrées. Elles sont reliées entre-elles par des bus-bar (lamelle métallique). Plus ces derniers sont nombreux, plus le module sera efficace et résistant.

Trois catégories se distinguent :



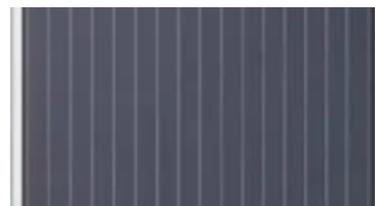
Monocristallins

Type très répandu car le plus performant, bien qu'aussi plus sensible à la chaleur. Il est aujourd'hui le type le plus proposé



Polycristallins

Type répandu car plus tolérant à la chaleur que le Monocristallin. Plus rarement proposé aujourd'hui



Amorphes

Type très peu répandu. Rendement faible mais bonne capacité à capter le rayonnement diffus (à opposer au rayonnement direct), et à résister à la chaleur.

Cellules à hétérojonction (mono + amorphe) = l'avenir ?

2.2 Les supports



Cadre métallique

Type le plus répandu à ce jour. Format historique. Le plus économique et résistant.



Bi-verre

Type apparu plus récemment. Permet de limiter l'ombrage et produire plus d'énergie grâce aux deux faces du module.



Souple

Type très peu répandu. Permet d'équiper des infrastructures atypiques, et est léger. Production par panneaux faible.

2.3 La puissance

La puissance d'un module est exprimée en **Watt-Crête (Wc)**.

Elle correspond à la capacité du module à produire **x kWh** par an dans des conditions « standards », c'est-à-dire des valeurs normatives utilisées en laboratoire pour comparer les modules. En l'occurrence, à une température de 25°C et un ensoleillement de 1000W/m² (ce qui concrètement n'arrive que très rarement dans l'année, température et ensoleillement variant constamment). En France, la puissance moyenne tourne autour de 80% de la puissance crête.

Autrement compris, cela équivaut à un rapport entre rendement du panneau et surface, soit en moyenne sur le marché :

$$1 \text{ kWc} = 4.5\text{m}^2 \text{ de modules}$$

À NOTER

Cette moyenne a grandement évolué ces 10 dernières années comme en atteste le graphique ci-dessous.



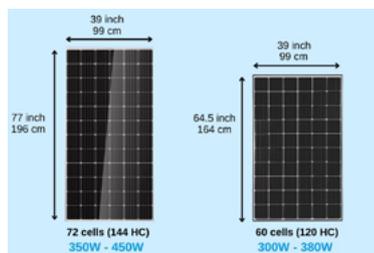
Graphique 1

Évolution de la puissance des modules standards (Wc), et leur équivalence en surface pour 1kWc (m²)

Techniquement, il est donc aujourd'hui possible d'installer une centrale de 100kWc sur une surface de toiture allant de 400 à 600m² avec le matériel disponible sur le marché. « L'optimum financier » se trouvant aux alentours des 450m².

2.4 La taille

Attention, plus de Wc ne veut pas toujours dire plus puissant, mais parfois juste plus grand. En effet, d'un constructeur à l'autre la surface du module photovoltaïque peut-être bien différente.



On considère deux formats « classiques »,

- les standards, de 1.6m², plus communément installé sur les petites toitures, notamment chez les particuliers. (à droite)
- les industriels, de 2m², plus communément installé sur les grandes toitures. (à gauche)

Evidemment un certain nombre se trouvent entre les deux.

Il existe également des panneaux de tailles inférieures, on parle alors de demi-module. Mais ceux-ci ne sont pas installés sur de grandes surfaces et servent plutôt pour les besoins de petits appareils (exemples : panneaux lumineux de prévention pour la vitesse).



2.5 L'origine

Le marché se concentre sur seulement quelques pays à l'échelle mondiale.

Six des plus grands fabricants de cellules photovoltaïques sont Chinois (3 premiers), et 3 sont nord-américains. Sur le marché Français, ce sont principalement des modules asiatiques qui occupent le terrain (Longi Solar, Trina Solar, ...). Les fabricants allemands sont également très présents (QCells, Soluxtech, ...). Les fabricants Français se font plus discrets (Photowatt, Dualsun,...), bien qu'en progression notamment par la création de nouvelles usines.



À NOTER

Deux niveaux de fabrication se distinguent, la fabrication des cellules et leur assemblage en module PV. Dans les faits, nombre de fabricants européens ne sont que des assembleurs d'éléments (cellule, cadre, verre, ...) en module. Dans ce cas, les cellules proviennent généralement d'Asie, et toujours principalement de Chine.

2.6 Les garanties

Les modules photovoltaïques sont concernés par deux types de garantie, la garantie de performance et la garantie produit classique.

Garantie de performance

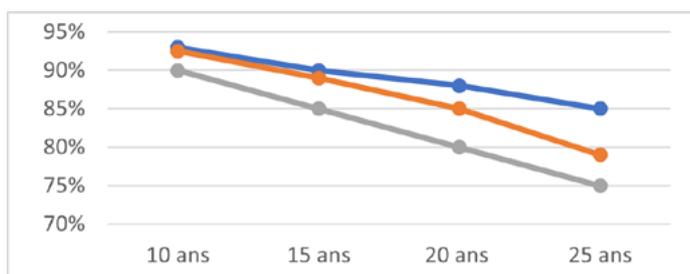
Cette garantie dit que **tout** module PV devra obligatoirement atteindre 80% de sa productivité initiale au bout de 20 ans de fonctionnement.

Les fabricants proposent généralement des garanties supérieures à l'obligation (85% à 25 ans, 90% à 20 ans, ...).

Cette garantie peut être proposée selon deux modalités :

Une grande majorité évoquent une perte de 2% maximum la première année, puis :

- Par palier : le fabricant propose deux âges pour lesquelles il garantit la performance. Souvent à 10 ans et à 20 ou 25 ans.
- Linéaire : le fabricant assure que la baisse de performance sera linéaire avec une perte de XX% par an. Souvent 0.55%/an (ou 89% au bout de 20 ans)



Graphique 2
Taux de productivité par rapport à l'initial selon les fabricants (moyenne), une hypothèse sécurisante, et la garantie réglementaire

Pour faire valoir cette garantie, des « flash test » seront à faire à vos frais, en laboratoire ou sur site. Les relevés de performance de la centrale seront donc à bien analyser afin de s'assurer de ne pas payer des tests pour rien.

À NOTER

Les technologies de modules PV déployées jusqu'à aujourd'hui se montrent toutes plus performantes que les chiffres avancés par cette garantie. Plusieurs études sur des centrales posées au cours des années 1990 montrent que les pertes s'élèvent entre 6 et 10% à 20 ans.

Garantie matériel (ou garantie produit)

Garantie classique qui assure le bon fonctionnement du matériel sur la période donnée par le fabricant. Cette période est très variable d'un fabricant à l'autre, mais se situe généralement pour les modules PV,

Moins de 10 ans : aucun

Entre 10 et 15 ans : la majorité

Au-delà de 15 ans : de plus en plus

À NOTER

Les défaillances d'un module PV sont liées à :

Moins de 7 ans : problème d'assemblage à l'usine ou détérioration au montage

7 à 25 ans : idem, mais représente moins de 1% des pannes

Au-delà de 25 ans : vétusté

2.7 Leurs points communs

- **Durée de vie** : 30 ans. Et ce quelle que soit la technologie. Au-delà, le risque de défaillance est de plus en plus important. A l'échelle d'une centrale photovoltaïque cela se traduit par des défaillances très régulières lié à l'arrêt de production d'un ou plusieurs modules. Cela rend l'entretien de la centrale extrêmement onéreux, et donc non rentable. Le remplacement complet est à privilégier. La progression de la technologie laisse à penser que la prochaine génération de module (arrivée proche) devrait avoir des durées de vie d'environ 40 ans.
- **Température** : Contrairement à certaines idées reçues, les modules photovoltaïques sont sensibles à la chaleur. Leur production d'électricité est affectée à la baisse lorsque la température des modules est trop élevée et inversement (environ 0.4%/°C (monocristallin), à la hausse ou à la baisse selon si la température augmente ou diminue). La puissance crête est donnée pour 25°C dans la cellule.
À NOTER à 20°C de température ambiante, une cellule PV est à environ 45°C (moyenne).
- **Norme environnementale** : Tous les modules entrant sur le territoire de l'Union Européenne doivent respecter un certain nombre de réglementation qui ne seront pas détaillées ici. Le marché Français n'est pas exposé aux produits non-normés. Une d'entre elle est à retenir, la norme concernant l'empreinte carbone pour les centrales supérieures à 100kWc. En effet, en France, cette norme impose que les modules proposés doivent émettre pour leur cycle de vie (voir ACV page 17) moins de 550kg de CO2/kWc. Le non-respect de cette norme vaut clause de suppression des contrats d'achat d'électricité. Votre installateur devra vous fournir le document gageant le respect de cette norme.

2.8 Comment choisir ?

Type de cellule : les modules monocristallins sont à privilégier. L'influence de la chaleur n'est pas significative sous nos latitudes, d'autant que la technologie a bien progressé.

Type de support : Pour un projet sur bâtiment, le support métallique est à privilégier. Le type bi-verre sert principalement pour les projets au sol car la production peut être améliorée grâce à l'albédo du sol. Le type souple, souvent associé avec des cellules amorphes, sont trop peu productifs, donc impossible à rentabiliser de nos jours.

Puissance : Un panneau à haut rendement (Wc élevé) est intéressant dans le cas où la surface disponible pour l'installation de la centrale est restreinte. Ces panneaux, plus efficaces, seront généralement plus chers. Il peut donc être préférable, si le site le permet, d'utiliser des panneaux de moindre puissance pour diminuer l'investissement et donc améliorer la rentabilité. Moins puissant en termes de Wc n'est pas synonyme de moindre qualité.

Taille : le format industriel est à privilégier. Moins de panneaux pour une même surface, moins de risque de panne.

Origine : Si la qualité d'assemblage est un critère de sélection dont la faveur reste à ce jour aux modèles européens, la technologie, autrement dit la productivité des modules, est très similaire quel que soit l'origine du module. Le prix sera plus déterminant dans le choix du module PV.

Garantie : Les défaillances des modules non liées à l'environnement apparaissent en général avant les 10 premières années. Ainsi une garantie à 10 ans est souvent suffisante. Les extensions de garantie ne sont pas pertinentes. Le stockage de quelques modules PV supplémentaires est intéressant (à négocier avec l'installateur).

À NOTER

Il est capital que les garanties (et extension de garantie) fournies soient du fabricant. Ces garanties doivent préférentiellement être couvertes par une assurance activable en cas de cessation d'activité du fabricant. Il est important de voir ce que couvre exactement la garantie (ex : ne couvre pas la surchauffe, ...), et quelles sont ses conditions d'activation (ex : test in situ ou en laboratoire obligatoirement). Vérifiez également si la garantie prend en compte la main d'œuvre (important si remplacement à faire en toiture).

Quels éléments composent une centrale photovoltaïque?

3. Les onduleurs

Cet élément sert à transformer le courant créé par les modules PV, du courant continu (DC), en courant compatible avec les caractéristiques du RPDE (Réseau Public de Distribution de l'Electricité) le courant alternatif (AC).

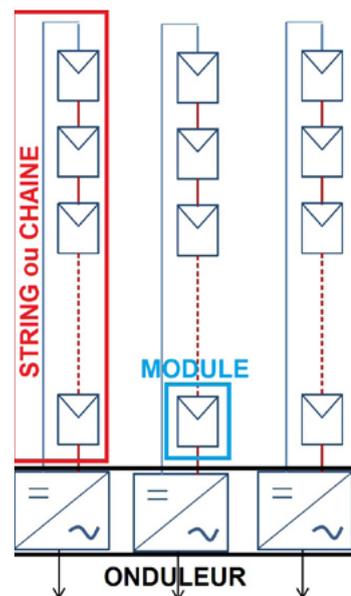
3.1 Les technologies

Plusieurs technologies d'onduleur, ou d'éléments associés, se divisent le marché, à savoir :

Onduleur centralisé

Type d'onduleur le plus utilisé à ce jour.

Un ou quelques onduleurs gèrent la totalité de la centrale. Il comporte plusieurs « entrées », ou MPPT, qui permettent de subdiviser la centrale en plusieurs chaînes. De 2 à 12 chaînes pour les onduleurs les plus puissants. Il s'installe à hauteur d'homme.



Ci-contre : **les modules** (quelques dizaines) sont reliés entre eux en série pour former **un string** (ou chaîne). Ces strings sont raccordés à **un onduleur** (ou à un MPPT de l'onduleur), ici, en parallèle.



Onduleur centralisé + optimiseur

Solution moins courante que précédemment.

L'onduleur est le même que ci-dessus. On va lui ajouter des optimiseurs, qui vont permettre de gérer la centrale en groupe de panneaux par chaîne. Il ne transforme par le courant (entrée DC/sortie DC). Les optimiseurs sont fixés sous les modules PV.

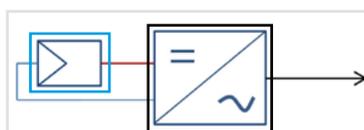
Micro-onduleur

Solution très présente par le passé (~10-15 ans), elle a été quasi-abandonnée au profit des onduleurs centralisés, à part sur les petites centrales chez le particulier.

Ici l'onduleur gère les modules PV un par un.

Les onduleurs sont fixés sous les modules PV.

Ci-dessous : **Le module** (ou quelques modules en série) est directement raccordé à **l'onduleur**.



Retrouvez le comparatif complet en page 13

3.2 Les puissances

Les onduleurs peuvent être de différentes puissances. Allant de quelques kilo-Watt (kW) à, pour les technologies actuelles, quelques centaines de kW par machine.

■ À NOTER

Un onduleur peut gérer une puissance crête supérieure à sa puissance nominale affichée. Ainsi, pour exemple, il est normal de voir une proposition technique avec un onduleur de 100kW pour une centrale PV de 120kWc, soit 120% de sa capacité.

3.3 Les garanties :

Les onduleurs ne disposent que d'une garantie classique, appelé garantie produit, qui assure le bon fonctionnement du matériel sur la période donnée par le fabricant.

Cette période est très variable d'un fabricant à l'autre, allant de 5 à 20 ans en général. Cette diversité de proposition est bien plus vaste que pour les modules PV, et il ne se distingue donc pas de tendance.

Des extensions de garanties onduleurs sont très fréquemment proposées. En général jusqu'à un maximum de 20 ans.

Ce sont parfois les installateurs qui les proposent en leur nom, et non au nom du fabricant.

■ À NOTER

Les défaillances d'un onduleur sont liées à :

Moins de 4 ans : problème de fabrication ou détérioration au montage

4 à 8 ans : idem, mais représente moins de pannes

Au-delà de 8 ans : vétusté

■ À NOTER

Il est capital que les garanties (et extensions de garanties) fournies soient du fabricant. Ces garanties doivent préférentiellement être couvertes par une assurance activable en cas de cessation d'activité du fabricant. Il est important de voir ce que couvre exactement la garantie (ex : ne couvre pas la surchauffe, ...), et quelles sont ses conditions d'activation (ex : test in situ ou en laboratoire obligatoirement). Vérifiez également si la garantie prend en compte la main d'œuvre (important si remplacement à faire en toiture).

3.4 L'origine

La concurrence sur le marché mondial est plus rude que pour les modules photovoltaïques. Ainsi marques et origines sont bien plus diverses.

En Europe, de très bonnes marques européennes se partagent le marché (ABB, SMA, ...). Elles côtoient quelques marques asiatiques moins présentes (Solar Edge, Delta, Sungrow, ...), mis à part le géant Huawei. Les onduleurs respectent un certain nombre de réglementations européennes qui ne seront pas détaillées ici. Le marché Français n'est pas touché par la non-conformité.

En termes de qualité, les différences de fiabilité et de qualité d'assemblage sont bien plus importantes que pour les modules PV. Les différences de prix sont de fait bien présentes également.

Une fois vos devis en mains, renseignez-vous auprès de plusieurs installateurs et des services de la Chambre d'agriculture pour vous aider à choisir.



3.5 Comment choisir ? Comparatif entre les technologies disponibles

Onduleur centralisé	Onduleur centralisé + optimiseur	Micro-onduleur
Gestion de l'ombrage (voir la partie spécifique sur le sujet en page 27)		
<p>Le moins efficace</p> <p>Néanmoins, la multiplication des MPPT permet une subdivision limitant l'impact de l'ombrage. Suffisant dans la majorité des cas</p>	<p>Efficace</p> <p>Permet de grandement augmenter la subdivision de la centrale. Voir en installant que sur une partie de la centrale. Intéressant en cas d'ombrage que l'on ne peut pas retirer.</p>	<p>Le meilleur choix</p> <p>Ne peut pas être plus efficace étant donné que la gestion de l'ombrage se fera panneau par panneau ou par deux panneaux.</p>
<p>À NOTER</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans tous les cas, faire en sorte de limiter l'ombrage reste la meilleure des solutions Ces conclusions valent également en cas de défaillance des modules ou de l'onduleur 		
Rendement		
<p>Quelle que soit la technologie utilisée, le rendement des onduleurs, c'est-à-dire leur capacité à rendre un maximum de kWh par rapport à ceux qu'ils ont reçu des modules PV, se trouve entre 95 et 98%. Néanmoins, les micro-onduleurs transforment le courant (DC/AC) plus tôt, limitant ainsi les pertes de câble.</p>		
Durée de vie		
<p>Quelle que soit la technologie utilisée, un onduleur (et ses optimiseurs le cas échéant) ont une durée de vie d'environ 10 ans. Limiter la surchauffe, surveiller les panneaux, sont bien entendu un moyen de les faire vivre plus longtemps. Le rendement baisse avec le temps mais de seulement quelques pour-cents.</p>		
Coût		
<p>Le moins cher</p> <p>...et de loin</p>	<p>Plus cher</p> <p>Les optimiseurs s'ajoutent à des onduleurs conçus pour fonctionner avec, et donc plus chers.</p>	<p>Le plus cher</p> <p>Le manque de concurrence (en France) et la confidentialité en fait une technologie chère</p>
Entretien		
<p>Le moins cher</p> <p>À hauteur d'homme, et généralement en échange standard en cas de panne, son entretien et/ou son remplacement est simple et rapide (limite le coût de la main d'œuvre (MO))</p>	<p>Plus cher</p> <p>... du fait des optimiseurs. Disposés sous les modules, ils nécessitent de passer par le toit en cas de besoin de remplacement Tous les optimiseurs n'auront pas tous la même date de fin de vie. Amenant à une présence régulière d'un mainteneur (coût de MO)</p>	<p>Le plus cher</p> <p>...et de loin. Le constat est le même que pour les optimiseurs, avec un nombre d'éléments bien plus important (1 par module/deux modules, contre 1 optimiseur pour plusieurs modules).</p>
<p>À NOTER Pour tout type d'installation électrique, plus il y a d'éléments, plus il y a de risque de panne</p>		
Les garanties (durée)		
<p>Très variable</p> <p>Les meilleurs fabricants proposent des garanties de 5 ans. Extension ? Attention à la « gratuité » affichée.</p>	<p>Longue</p> <p>20 ans généralement, y.c. pour l'onduleur associé aux optimiseurs</p>	<p>Longue</p> <p>20 ans généralement.</p>
Les garanties (contenu)		
<p>La quasi-totalité des garanties ne prennent en compte que les pièces et non la main d'œuvre. Cette dernière est non négligeable en cas de défaillance des optimiseurs et micro-onduleurs.</p>		

3.6 La communication des données

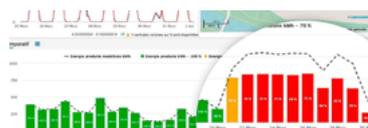
L'onduleur est aussi l'appareil qui regroupe toutes les données de fonctionnement de la centrale.

Les onduleurs voient leurs écrans d'affichage réduire fortement au profit de système communiquant avec internet.

Vous disposerez d'un compte client chez votre fournisseur d'onduleur. Depuis ce site internet vous pourrez voir le fonctionnement de votre centrale, mais également les alertes de dysfonctionnement.

Il est également possible de faire appel à des systèmes de supervision à part de l'onduleur, souvent plus complet et plus lisible. Ils sont développés par des entreprises spécialisées ou par l'installateur. Cela a évidemment un coût.

Ces interfaces de supervision numériques sont de plus en plus disponibles sur smartphone.



À NOTER

L'onduleur nécessite donc une connexion à internet pour être pleinement efficace. Soit le wifi de la ferme peut atteindre l'onduleur, soit un boîtier de communication spécifique devra être installé (coût d'abonnement d'environ 100€/an).

Pensez à bien paramétrer vos alertes !

3.7 Les astuces de placement

L'onduleur est un élément dont le positionnement est stratégique. Il doit à la fois,

- Être proche de la centrale : en courant continu (DC) la distance entraîne rapidement des pertes d'énergie.
- Être proche du point de livraison (PDL) : Le comptage de l'électricité vendu se fait au PDL. La distance entraîne des pertes d'énergie, bien que celles-ci soient moins importantes qu'au-dessus car en courant alternatif (AC).
- Ne pas être installé dans un bâtiment/une pièce où se trouve du vivant, ou sur une zone de passage pour les animaux. Du fait du danger électromagnétique (voir page 24), et de la gêne que cela peut occasionner aux bêtes dans les zones de passage (refus de passage, stress, passage rapide et risque de blessure, ...).
- Être préférentiellement dans une zone où l'on a l'habitude de passer afin de s'apercevoir d'une défaillance sur l'interface (écran ou simple diode) et/ou suivre la production (si écran).
- Être dans un endroit aéré pour éviter les surchauffes délétères pour le rendement et la durée de vie du matériel.

À NOTER

Certaines assurances demanderont que l'onduleur soit placé sur la face extérieure du mur, ou parfois sur une dalle engrillagée à quelques mètres du bâtiment. En intérieur il pourra être demandé qu'il soit dans un local coupe-feu. Ces demandes sont légitimes pour des raisons de sécurité incendie.



Quels éléments composent une centrale photovoltaïque?

4. Le système d'intégration

Les centrales photovoltaïques peuvent être posées sur un grand nombre de type de toiture ou en remplacement de cette dernière. La structure porteuse des panneaux, autrement appelé « système d'intégration » varie en fonction du choix technique. Dans le détail...

4.1 L'intégration au Bati (IAB)

Ici la centrale photovoltaïque remplace la couverture de toiture. Ce système est largement utilisé pour les habitations individuelles. Pour les centrales de grande taille, ce type d'intégration a été progressivement abandonné. Certains Plan Local d'Urbanisme (PLU) ou demande des Architectes Bâtiment de France (ABF) peuvent rendre obligatoire l'appel à cette technologie.



4.2 L'intégration Simplifié au Bati (ISB)

Ici la centrale photovoltaïque est posée par-dessus la couverture de toit existante. Ce système est le plus utilisé à ce jour. Il est possible de l'installer sur toiture en bac acier (isolé ou non), fibrociment et même tuile. Le système est posé directement sur la couverture (hors tuile) ou accroché sur les pannes en-dessous (plus qualitatif).



4.3 Comment choisir ? Comparatif entre les technologies disponibles

ISB	IAB
Poids	
Vient s'ajouter à la toiture existante Ajout de l'ordre de 5 à 7 kg/m ²	Remplace la couverture Retire le poids des couvrants (10 à 25 kg/m ² selon type)
Fiabilité	
« Sans faille » Constitué de simples railles métalliques et autres visseries. L'installation (perçage, vissage, ...) peut endommager la couverture existante si celle-ci est usagée.	Mauvaise Bien que les technologies s'améliorent, le mouvement permanent du bâtiment génère souvent des déformations du système. Cela peut provoquer des fuites voire la fissuration des panneaux PV du fait de l'application d'une contrainte, par exemple l'écrasement, qu'ils ne sont pas censés gérer.
Influence sur la performance de la centrale	
Bénéfique La séparation entre la toiture et la centrale (5 à 15 cm), du fait de la présence du système d'intégration, permet la présence d'un coussin d'air qui sera brassé par les vents. Baissant ainsi la température des modules.	Mauvaise La face inférieure des modules se trouve à l'intérieur du bâtiment. Cela amène souvent à un faible brassage de l'air, ce qui limite la baisse de température des modules.
Coût	
Le moins cher Dépend du type de toiture présente. Coût allant du bac acier, en passant par le fibrociment, et enfin les tuiles. L'installation directement sur la couverture est bien moins onéreuse que sur les pannes.	Plus cher Plus complexe, ce système est donc le plus cher. Raison pour laquelle l'arrêté tarifaire S21 (voir page XX) accorde un bonus sur le tarif au kWh vendu si ce système d'intégration est choisi À NOTER En fin de vie de la centrale, la toiture est à faire

Quels éléments composent une centrale photovoltaïque?

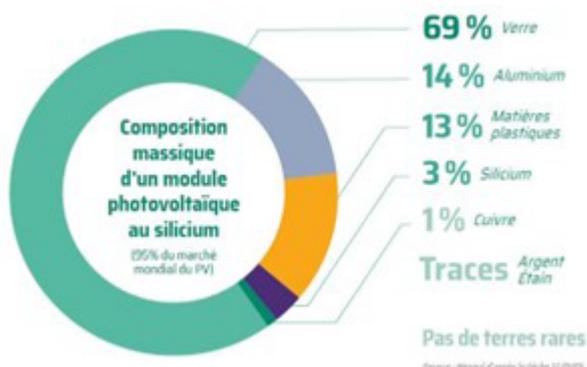
5. Recyclage et analyse de cycle de vie

5.1 Le recyclage

Le financement du recyclage est le même que pour de nombreux matériels vendus en UE, à savoir une éco-participation à l'achat. Il ne vous sera donc rien demandé en fin de vie de la centrale. Chaque élément d'une centrale PV a une solution de recyclage associée, à savoir :

Les modules PV

Les modules PV sont constitués comme suit :



On considère qu'un module est recyclable à **94%**.

Le verre, l'aluminium, les matières plastiques ou les métaux type cuivre, argent ou étain, sont recyclés selon des modalités bien connues et maîtrisées à ce jour.

La silice est à ce jour recyclée en module PV neuf uniquement. Concrètement, la France a sur son territoire deux usines spécialement conçues pour le recyclage (et même le reconditionnement pour la deuxième) de module PV. La filière de recyclage répond à une directive d'État.

Les onduleurs

Les onduleurs sont ce que l'on appelle des Déchets d'Équipements Électrique et Électronique (DEEE). La gestion de leur recyclage suit une directive d'État. Le taux de recyclabilité est plus aléatoire d'une machine à l'autre.

Le système d'intégration et les câbles

Composé essentiellement de métaux (fer, cuivre, etc...) et de plastique, systèmes d'intégration et câbles se recyclent comme n'importe quels autres matériaux bruts du même genre.

Comment s'en débarrasser ?

A ce jour l'entreprise Soren est la seule habilitée en France pour le recyclage des modules PV. L'entreprise peut changer (avant 2021 l'entreprise était PV Cycle), mais tous les pays de l'UE ont obligation d'avoir au moins une entreprise avec cette habilitation.

Les modalités de récupération des modules sont :

- Dans tous les cas, vous devrez démonter et descendre de votre toiture les modules PV.
- Moins de 40 modules PV (soit à ce jour, une centrale <16kWc) : vous devrez amener les modules dans une déchetterie ou chez certains grossistes en matériel électrique en capacité de les accueillir.
- Plus de 40 modules PV : vous devrez mettre sur palette les modules, l'entreprise de recyclage viendra les récupérer directement sur place.

Onduleurs, système d'intégration et câbles seront à amener en déchetterie. Des organismes comme Ecosystem ou Ecologic sont agréés pour le retraitement de ces déchets. Les déchetteries leur servant de point de collecte.

Il sera préférable de contacter votre déchetterie au préalable afin de se renseigner sur les modalités de gestion du volume (apport sur rendez-vous, mise à disposition d'une benne, ...).

soren

ecosystem

EcoLogic
ECOLOGIC
(Recyclage des déchets
électriques et électroniques)

5.2 Analyse du Cycle de Vie

La mesure de l'impact environnemental d'une installation photovoltaïque s'effectue par une analyse du cycle de vie (ACV). L'analyse prend en compte depuis l'extraction des matériaux constituant, en passant par la fabrication des composants de la centrale, son installation, son fonctionnement sur site et son traitement en fin de vie (normes internationale ISO-14040-44 de 2006).



Le schéma ci-contre reprend ce principe, et donne les chiffres concernant le retour énergétique de la centrale.

Sous nos latitudes, i.e. grâce à l'ensoleillement que l'on reçoit, il faut environ à peine plus d'un an pour produire plus d'énergie que ce que la centrale en consommera pendant tout son cycle de vie.

L'autre impact à observer est celui sur les émissions de carbone.

La BaseCarbone de l'ADEME dit que le PV émet 44gCO₂/kWh.

A titre de comparaison (en g de CO₂/kWh) : Nucléaire/ hydraulique : 6 ; Éolien : 15 ; Gaz : 420 ; Charbon : 1060

À NOTER

Ces chiffres sont à considérer comme des ordres de grandeur moyen.

Zoom sur la fin de vie de la centrale

Cet impact environnemental dépend de nombreux facteurs (quantité d'énergie produite, modalité d'extraction des matériaux, pays d'assemblage, ...). Le choix fait en fin de vie de la centrale va également exercer une influence.

En effet, la fin de vie d'une centrale peut être imaginée de deux manières :

- Démantèlement complet :
 - Toute la centrale est retirée du bâtiment et envoyée en recyclage.
- Démantèlement partiel et renouvellement de matériel :
 - Certains éléments, tel que les modules ou les onduleurs, seront préférentiellement à remplacer au regard de leur temps de vie moyen (pour rappel, onduleurs 10 ans, module PV, 30 à 40 ans).
 - D'autres, tel que le système d'intégration ou les câbles, ont des durées de vie pouvant être plus importantes. Ils pourront donc rester en place et accueillir une nouvelle centrale.

Il sera néanmoins préférable de faire contrôler ces éléments par un professionnel afin de s'assurer qu'ils pourront tenir les 30 ou 40 ans supplémentaires.

➔ Réutiliser ces éléments diminuera nécessairement l'impact environnemental de la centrale.

Il va sans dire que le bâtiment devra également être contrôlé afin de s'assurer qu'il puisse encore faire support pour les 30 à 40 années supplémentaires.

Tout ceci doit évidemment s'analyser selon l'économie de projet. Autrement dit, la balance entre réinvestissement sur de l'ancien ET démantèlement/création neuve.

Quelles influences du photovoltaïque sur le bâtiment et son contenu ?

1. L'influence sur le projet bâtiment ou le bâtiment existant

La présence du PV peut avoir divers impacts sur le bâtiment, son environnement et/ou son usage. Il est important de bien étudier ces potentiels impacts avant de se lancer.

■ À NOTER

Afin d'éviter toute détérioration de l'usage de votre bâtiment existant ou à construire du fait de la présence du PV, nous vous recommandons de vous adresser aux services dédiés de votre Chambre d'agriculture qui, en lien avec votre conseiller énergie, sera à même de vous proposer les solutions optimales d'un point de vue agricole ET photovoltaïque.

1.1 L'état de la charpente

L'installation de PV en toiture amène une charge supplémentaire sur la structure du bâtiment, en moyenne de :

15 à 20 kg/m²

Il est donc primordial de s'assurer que le bâtiment aura la capacité d'accueillir ce poids supplémentaire dans le temps (rappel : durée d'un projet = 30 ans). Et, le cas échéant, résister au déséquilibre des masses, comme lorsqu'un pan de toiture est équipé (sud) et pas l'autre (nord).

Pour simplifier, on considère que le poids d'un fibrociment ↔ bac-acier + PV

Dans le cas d'une installation faite en IAB, le poids de la couverture du toit est donc retiré.

Étude structure

Ces études peuvent être réalisées par des bureaux d'étude spécialisés en structure ou des bureaux de contrôle tel que l'APAVE, la SOCOTEC, VERITAS, ou autre organisme similaire.

Certains installateurs pourront vous proposer cette étude (via sous-traitant généralement).

Ce service vous sera généralement facturé, y compris si la proposition vient de l'installateur. En effet, ces derniers peuvent demander systématiquement une telle étude avant de s'engager à réaliser le projet.

Ces études coûtent aux alentours de 1 à 4000€ selon la taille et la complexité du bâtiment à contrôler.

Il est recommandé de réaliser une étude pour les bâtiments ayant plus de 10 ans. Cette recommandation vaut d'autant plus pour les bâtiments situés en zone de fort vent ou neige.

■ À NOTER

Le constructeur du bâtiment pourra émettre un avis sur la résistance du bâtiment, mais pas forcément établir un document l'attestant formellement.

Renforcement de charpente

Dans le cas où l'étude conclut que la structure ne supportera pas la surcharge, un renforcement de structure est souvent possible. Cela peut être afférent au poids de la centrale photovoltaïque mais également dû à des normes (eurocode) qui auraient évoluées depuis la construction du bâtiment.

Le montant du renforcement (très variable) est à prendre en compte dans le calcul de la rentabilité du projet PV. Sauf si le renforcement était prévu pour une tierce raison.

1.2 L'état de la toiture

La présence du PV peut avoir divers impacts sur le bâtiment, son environnement et/ou son usage. Il est important de bien étudier ces potentiels impacts avant de se lancer.

Comme déjà évoqué, un projet PV a une durée de vie longue. Au-delà de la structure, les éléments de toiture doivent également être aptes à tenir aussi longtemps. Le remplacement de ces éléments après la pose du PV est particulièrement complexe (démontage/remontage des modules, des rails de fixation, casses éventuelles à la manipulation, ...).

Correctement installé, le PV n'a pas plus d'influence néfaste sur une typologie de toiture plutôt qu'une autre.

Désamiantage

Le désamiantage est un sujet préoccupant dans les exploitations agricoles.

Bien que certains installateurs PV puissent encore le proposer, **il est vivement déconseillé d'installer une centrale PV sur des fibrociments amiantés. Vous vous exposerez à des désagréments quasi certains.**

L'interdiction de l'amiante dans les fibrociments date de 1997, soit il y a 26 ans à la rédaction de ce guide. Le projet PV amènera donc la couverture amiantée à une vie d'a minima plus de 45 ans.



Les exploitants concernés par des travaux sur une surface amiantée sont dans l'obligation de faire appel à une entreprise certifiée (chantier de retrait et démolition) ou spécialisée (rénovation, entretien) dont les acteurs seront spécifiquement formés pour faire face au risque lié à l'exposition à l'amiante (enlèvement et enfouissement).

Pour pouvoir réaliser des travaux de désamiantage, une entreprise doit être certifiée par un organisme accrédité par la COFRAC (Comité Français d'Accréditation). Les organismes français pour délivrer la certification amiante sont Qualibat, AFNOR Certification, Global Certification.



En tant que propriétaires de bâtiments amiantés, vous ne pouvez pas retirer, démolir, déplacer, percer, découper des plaques contenant de l'amiante sauf si vous avez suivi une formation spécifique et que vous avez élaboré un protocole opératoire spécifique transmis à l'inspection du travail.

Vous pouvez, pour une durée maximale d'un an, entreposer sur une palette filmée et étanche des matériaux amiantés et en assurer par la suite l'élimination dans une installation autorisée par le code de l'environnement (centre d'enfouissement agréé).

1.3 L'adéquation avec l'usage du bâtiment

La présence du PV peut avoir divers impacts sur le bâtiment, son environnement et/ou son usage. Il est important de bien étudier ces potentiels impacts avant de se lancer.

Au-delà des questions purement techniques, un bâtiment est un outil au service de l'agriculteur. Il est nécessaire d'être vigilant à ce que la présence du PV ne dégrade pas l'usage que vous pourrez faire du bâtiment.

Ventilation du bâtiment

La conception, ou l'adaptation, du bâtiment peut être influencé par le PV.

Les exemples les plus marquants sont :

- L'orientation vers des bâtiments monopents ou en casquette pour maximiser la surface avec la meilleure exposition. Ces bâtiments peuvent poser des problèmes de condensation supérieure au bipent.
- L'absence ou le retrait de tout ou partie de l'aération en faitière. Par effet « cheminée », les aérations en faitières entraînent d'importantes salissures sur une à deux rangées de modules PV les plus proches, et sont difficiles à nettoyer, ce qui entraîne une baisse de la production.
- Le remplacement de translucide en toiture par du bac-acier, ou passage par-dessus les translucides, pour respectivement faciliter la pose du PV, et optimiser la surface PV.

Ces exemples témoignent d'adaptation pour le PV néfastes pour les utilisateurs et occupant (les animaux en l'occurrence) du bâtiment.

Pour des raisons de praticité ou de confort, il reste donc conseillé d'opter, dans tous les cas, pour une couverture permettant une bonne isolation (bac acier isolé, feutre anti-condensation, ...), associé à un système de ventilation (naturelle ou non) efficace et un accès à la lumière suffisant (en bonus : économie d'énergie).

Concernant l'usage d'engin à proximité du bâtiment,

Reportez-vous à la partie maintenance/entretien page 46

Concernant l'adéquation de l'usage du bâtiment et l'implantation de l'onduleur,

Reportez-vous à la partie onduleur page 11

Quelles influences du photovoltaïque sur le bâtiment et son contenu ?

2. Réglementations et responsabilités

La présence du PV peut avoir divers impacts sur le bâtiment, son environnement et/ou son usage. Il est important de bien étudier ces potentiels impacts avant de se lancer.

2.1 L'urbanisme

Déclaration préalable de travaux (DP) / Permis de construire (PC)

Dans le cas d'un projet PV sur bâtiment existant, il sera seulement nécessaire de réaliser une DP auprès de votre mairie. **Temps d'instruction : 1 mois**

Dans le cas de projet bâtiment + photovoltaïque, la totalité du projet doit apparaître dans les documents nécessaires à la réalisation du PC. **Temps d'instruction : 3 mois**

Dans les deux cas, la réalisation de ce document est généralement faite par un tiers, soit le développeur dans le cas de la DP, soit l'architecte qui va concevoir le bâtiment dans le cas du PC.

N'hésitez pas à contacter votre mairie en amont de la rédaction de ces documents pour connaître d'éventuelles règles à prendre en compte.

■ À NOTER

Pour toute question relative à votre projet de bâtiment (règle d'implantation, règle de réciprocité, ...), rapprochez-vous du service dédié de votre Chambre d'agriculture.

Architecte des Bâtiment de France (ABF)

L'ABF peut donner un avis sur un projet PV s'il se trouve dans une zone classée. Rapprochez-vous de votre mairie pour connaître ces périmètres.

L'avis de l'ABF peut avoir une répercussion sur plusieurs paramètres de la centrale (type d'intégration, couleur des modules PV, ...), ou simplement interdire le projet.

2.1 L'urbanisme

En tant que porteur de projet dans le domaine du bâtiment, « que vous ayez réalisé des travaux vous-même ou que vous ayez fait construire par un maître d'œuvre, vous êtes considéré comme maître d'ouvrage (MOA) et responsable des dommages qui pourront compromettre la solidité de l'ouvrage. » (Art 1792 du code civil).

Vous serez alors chargé de :

- Superviser les travaux
- Les réceptionner
- S'assurer qu'ils respectent bien les normes légales



Obligatoirement, avant de débiter les travaux :

- Vérifier que l'installateur PV est assurée en décennale pour l'année en cours.
- Cette assurance, valable 10 ans après réception de l'ouvrage, vous couvrira en cas de désordres affectant l'intégrité du bâtiment, voir le rendant impropre à son usage (étanchéité, risque d'effondrement). Les dégâts causés et les travaux de correction/remplacement seront pris en charge.
- Souscrire à une assurance dommages-ouvrages (DO) vous permettant d'être remboursé rapidement (dans un délai 90 jours) des réparations relevant de la garantie décennale sans recherche de responsabilité.

Optionnellement, mais vivement conseillé, vous pouvez également souscrire à :

- Une assurance tous risque chantier (TRC) couvrant les dommages matériels pouvant intervenir sur le chantier (incident, vol...) qui durera tout au long du chantier. Elle vous permettra de reprendre les travaux dans les plus brefs délais après indemnisation.

Enfin, en tant que MOA, vous aurez la responsabilité en matière de sécurité des salariés travaillant sur votre chantier.

Vous êtes donc chargés de veiller à l'application des règles du code du travail concernant les conditions de travail ainsi que des règles générales de prévention des risques.

La prévention est la clé pour éviter un accident ; les possibilités sont les suivantes

- Veiller au respect des règles de sécurité sur le chantier
- Préparer le chantier en signalant tout danger
- S'assurer que les salariés disposent des équipements de protection
- S'assurer que les salariés portent bien les équipements de protection



Quelles influences du photovoltaïque sur le bâtiment et son contenu ?

3. Les dangers liés à la présence du photovoltaïque

3.1 L'incendie

Dangers et risques

Bien que le risque soit faible, des incendies peuvent se déclencher à cause du PV. Les dangers se déclinent de la manière suivante :

Origine	Risque	Causes	Conséquences / Danger
Modules PV	Faible	Point chaud généré par des courts-circuits à l'intérieur du module.	Échauffement bien supérieur à 100°C, inflammation des matières proches
Câble	Faible	Arc électrique généré par une mauvaise connexion entre fiches.	Échauffement bien supérieur à 100°C, inflammation des matières proches
Onduleur	Le plus fort	Échauffement ou arc électrique lié à une défaillance du matériel	Échauffement important ou inflammation de l'onduleur

Capacité d'intervention des sapeurs-pompiers (SP)

Il est primordial que le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) ait connaissance de votre centrale PV. Il sera nécessaire de faire la déclaration, ou de s'assurer qu'elle est bien réalisée par l'installateur.

Avec cette information les SP pourront adapter le matériel et les moyens humains en cas d'intervention.

Les SP français disposent du matériel et de la formation nécessaire pour intervenir sur un incendie en présence de PV. C'est-à-dire un incendie en présence de fort courant électrique.

Néanmoins, certains facteurs pourront limiter leur capacité d'intervention :

- La caserne qui intervient peut ne pas avoir le matériel et/ou le personnel adéquate au temps T,
- Le matériel et/ou le personnel adéquate ne peut être déployé dans un temps suffisamment court pour préserver le bâti,
- Le matériel ne peut être correctement disposé sur site (manque de place, terrain inadapté, ...),
- L'incendie est trop important et/ou le bâtiment équipé de PV trop fragilisé.

→ Comme pour toute intervention, la préservation de la vie humaine sera la priorité absolue. Si certains de ces facteurs limitants sont présents lors de l'intervention, le bâtiment et son contenu ne sera que partiellement ou pas du tout préservé des flammes.

À NOTER

Plus généralement, les incendies en présence de PV sont dû à une cause externe à la centrale (auto-échauffement de pailles, défaillance d'un véhicule, ...).

Réduire les risques et aider à l'intervention des SP

- Réaliser une maintenance préventive suffisamment régulière (voir partie maintenance page 46).
- Être vigilant au bon entretien de l'onduleur (voir partie entretien page 46)
- Appliquer aux endroits adéquats la signalétique de danger à destination des SP
- Connaître les différents points de coupure d'électricité de la centrale à indiquer aux SP
- Aménager une circulation en toiture autour de la centrale (90cm) pour faciliter le bûchage par les SP (arrête la production)
- Si les onduleurs sont dans un local technique, prévoir un système d'extinction, et si opportun, mettre des parois et portes coupe-feu (obligatoire seulement pour les Établissements Recevant du Public (ERP))
- Préférer le positionnement des onduleurs en extérieur, voir éloigné du bâtiment (quelques mètres)



3.1 L'électromagnétisme et les courants parasites

Électromagnétisme

Le rapprochement entre PV et danger électromagnétique est très fréquent, notamment en élevage.

À NOTER

A ce jour nous ne disposons que de très peu d'informations sur l'impact de l'électromagnétisme sur le vivant. Il n'y a pas de consensus scientifique, notamment du fait du manque d'étude. Les notions de nocivité et de distance indiqués ci-dessous sont des recommandations de prudence compte tenu d'observation chez quelques élevages.

Concrètement, pour les hommes et les animaux :

Élément	Nocivité potentielle	Distance
Modules	Forte	Quelques dizaines de cm (si exposition directe)
	Faible	Jusqu'à un mètre
Câble	Faible	Les câbles sont gainés
Onduleur	Très forte*	Inférieur à 5m si dans une pièce dédiée* - Inférieur à 8m si exposition directe*
	Faible	Jusqu'à 10m

*Information issue du guide du Centre National Interprofessionnel de l'Économie Laitière (CNIEL)

L'onduleur est l'élément le plus problématique car il concentre plusieurs flux électriques. Il est donc important que son implantation soit mûrement réfléchi à la conception de la centrale (voir astuce de placement page 14).

À NOTER

Les tableaux électriques d'une exploitation agricole ou d'une centrale PV sont aussi un lieu de fort électromagnétisme. Ils concentrent en effet une grande variabilité de type de courant en un même endroit. Le placement de cet élément électrique doit également être éloigné du vivant.



Courants parasites

Le PV est une installation électrique, qui plus est de haute intensité, voltage et puissance. Comme toute installation électrique, une mauvaise installation peut générer des courants parasites. Il sera donc important que les contrôles et renforcements de terre soient fait. Avec une prise de terre préférentiellement mise en dehors du bâtiment.

À NOTER

Il est plus facile de prévoir un câble lors de la construction, que devoir casser pour en passer un plus tard.

La recherche de courant parasite est une prestation que les Chambres pourront vous proposer directement ou vous orienter vers des partenaires de confiance. Vous pouvez également consulter le guide « Comment éviter les courants électriques parasites en élevage laitier ? » du CNIEL.



Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?

1. Le productible

Facteur primordial pour déterminer la rentabilité du projet, il est capital de correctement évaluer le productible, ou autrement dit, la quantité d'énergie produite par la centrale photovoltaïque. Pour une même centrale, la production d'électricité dépendra de la quantité et la qualité de l'ensoleillement reçu.

Le productible s'exprime en : **kWh/m²/an**

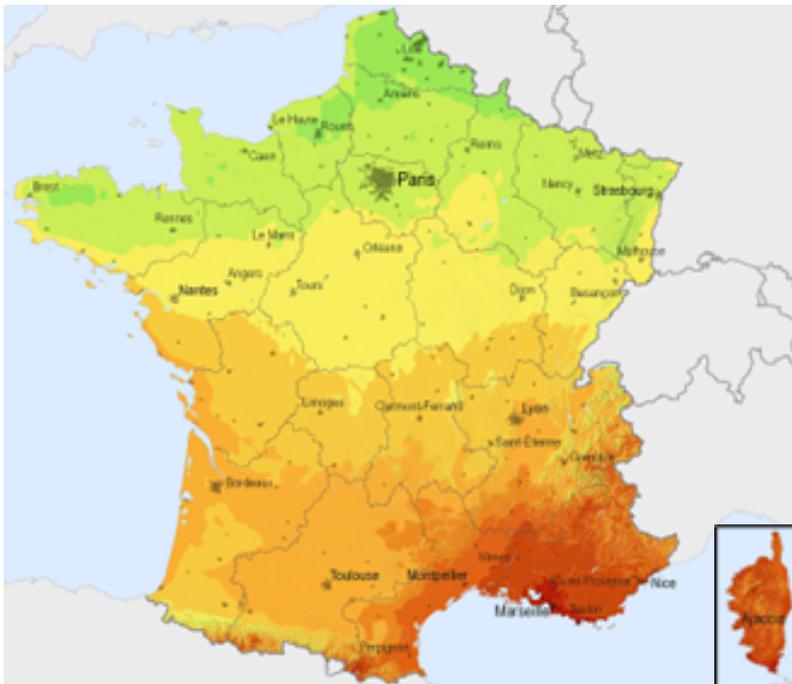
→ Cette unité est plus complexe à utiliser car nécessite de convertir la surface en unité de puissance. Cela va dépendre du rendement du module PV

ou
kWh/kWc/an

→ Cette unité permet d'avoir sa production globale annuelle par simple multiplication avec la puissance de la centrale.

La valeur du productible est variable selon la position géographique de la centrale. Cependant, pour obtenir une valeur de productible la plus optimale, il faudra également penser à l'orientation ainsi que la pente de toit, et ne pas non plus négliger la présence d'ombrages lointains ou proches.

1.1 L'influence de la position géographique



La latitude

La définition donnée par le Larousse pour la latitude est « Lieu considéré du point de vue de sa distance à l'équateur [...] ».

Il est de réputation que le sud est plus ensoleillé que le nord. La carte ci-contre l'affiche clairement.

Les couleurs rougeâtres indiquent un ensoleillement élevé. Les couleurs verdâtres un ensoleillement plus faible.

En chiffres :

Lille : 1000kWh/m²

Marseille : 1700kWh/m²

L'altitude

L'altitude a un effet sur la qualité de l'ensoleillement reçu ainsi que sa durée. Le rayonnement solaire est plus intense en altitude pendant les périodes hivernales (moins limité par les nuages et le brouillard), le rendement s'en trouve également amélioré grâce à la réflexion des rayonnements sur la neige.

1.2 L'influence de la pente et l'orientation

L'implantation optimum, pour une production maximale, est plein sud avec une pente de toit de 30° (ou 58%). Cependant, bien d'autres possibilités d'orientations et de pente sont intéressantes pour le photovoltaïque. Le tableau ci-dessous montre le coefficient à appliquer à la production selon l'orientation et la pente de la centrale :

FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNEES					
INCLINAISON \ ORIENTATION		☀ 0° —	☀ 30° ↗	☀ 60° ↘	☀ 90°
		Est 	0,93	0,90	0,78
Sud-Est 	0,93	0,96	0,88	0,66	
Sud 	0,93	1,00	0,91	0,68	
Sud-Ouest 	0,93	0,96	0,88	0,66	
Ouest 	0,93	0,90	0,78	0,55	

 : position à éviter si elle n'est pas imposée par une intégration architecturale

source Hespul

NB : Ces chiffres n'incluent pas les potentiels masques qui pourraient réduire la production

Dans nos départements, on constate que :

- L'orientation Sud restera la plus productive.
- Pour les orientations Est et Ouest, la productivité reste encore intéressante.
- Les expositions Nord seules sont à exclure.

Remarque : Couplé à des modules installés sur d'autres pans plus productifs, les panneaux au Nord peuvent être pertinents pour optimiser une centrale (exemple : utiliser toute la capacité d'un onduleur).

À NOTER

En autoconsommation la production maximale n'est pas forcément à rechercher. Une production optimisée par rapport à la consommation de l'exploitation peut lui être préférable (voir page 38).

Concernant la pente, il est extrêmement rare de rencontrer des bâtiments agricoles avec une pente de 30°, les pentes les plus courantes retrouvées sont de 11 à 16° (soit 20 à 30%) *.

* Calcul d'une pente :
$$Pente (\%) = \frac{\text{Hauteur du pan de toit (m)}}{\text{largeur du pan de toit (m)}} \times 100$$

1.3 L'influence de l'ombrage

Pour fonctionner au mieux votre installation devra être soumise au moins d'ombrages possibles.

Deux types d'ombrage peuvent influencer votre centrale :

- L'ombrage lointain (colline, montagne) : qui lui est inévitable
- L'ombrage proche (arbre, poteau électrique) : qui peut être évité dans certains cas.

L'ombrage lointain

Cet ombrage peut apparaître :

- Sur tout ou partie de la centrale,
- Sur certains moments de la journée,
- Sur différentes saisons (notamment l'hiver)

Il est nécessaire d'évaluer l'influence de l'ombrage sur la productivité par la réalisation d'un masque solaire (exemple ci-contre où la perte de rendement annuelle due à l'ombrage, le trait noir foncé, est estimée à 12%).

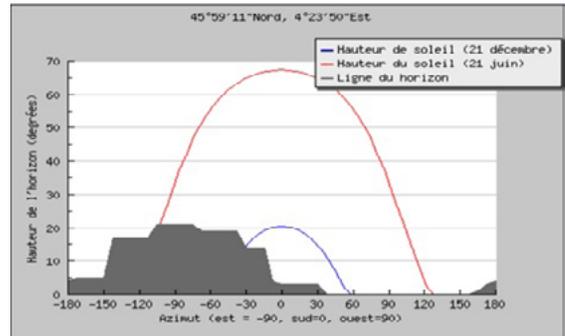
À NOTER

La prise en compte de ce phénomène est encore plus important à analyser pour des systèmes en autoconsommation de petite puissance. La rentabilité repose sur la superposition des courbes de production et de consommation de l'exploitation. Voir partie autoconsommation page 38.

Il est possible de connaître le productible de votre centrale, ombrage lointain compris, grâce au logiciel européen

PVGis 5 (gratuit, en français)

Comment s'en servir ?



1 Renseignez votre localisation

2 Renseignez les variables propres à votre bâtiment

- 2.1 Perte système : 10%
 - 2.2 Inclinaison (pente de la toiture, exprimée en degrés)
 - 2.3 Azimut (orientation)
- Attention :** Valeur azimut : nord : 180°, sud : 0°, ouest 90°, est -90°

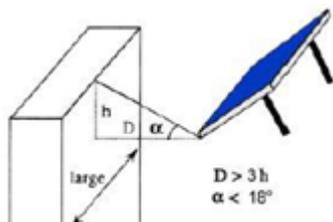
3 Cliquez !

PERFORMANCE DU SYSTÈME PV COUPLÉ AU RÉSEAU : RÉSULTATS	
Résumé	
Entrées fournies	
Emplacement (Lat/Lon)	45.816, 4.721
Horizon	Calculé
Base de données	PVGIS-SARAH2
Technologie PV	Silicium cristallin
PV installée [kWp]	1
Pertes du système [%]	10
Résultats de la simulation	
Angle d'inclinaison [°]	15
Angle d'azimut [°]	0
Production annuelle PV [kWh]	1234.52
Irradiation annuelle [kWh/m²]	1508.54
Variabilité interannuelle [kWh]	50.92
Changements de la production à cause de:	
Angle d'incidence [%]	-3.3
Effets spectraux [%]	1.23
Température et irradiance faible [%]	-7.11
Pertes totales [%]	-18.16

4 Obtenez la valeur de votre productible annuel (en kWh/kWc/an ou en kWh/m²/an)
Comparez avec votre devis !

L'ombrage proche

Arbre, bâtiment, silo, fil ou poteau électrique, etc, installés plus au sud de votre système photovoltaïque pourraient avoir une incidence non négligeable sur la perte de production, proportionnelle à sa hauteur et sa corpulence.



La règle à respecter est la suivante :

Mesurez la hauteur qui sépare le point le plus bas de votre centrale au point le plus haut de l'élément pouvant provoquer un ombrage sur vos modules.

Éloignez votre centrale ou le futur nouvel élément de 3 fois cette hauteur pour éviter tout effet d'ombrage

En effet, une ombre sur la centrale, aussi petite soit-elle, peut entraîner la sous production de toute ou partie de la centrale. Les calculateurs ne prennent pas en compte cet ombrage. Il faudra donc y être vigilant lors des visites sur site.

Comme mentionné dans la partie concernant les onduleurs (voir page 11), les technologies comme les optimiseurs de puissance ou le micro-onduleur peuvent limiter l'impact des deux types d'ombrage.

1.4 Exemples de productible

Les mesures ci-dessous sont des exemples pris dans les différentes villes afin de montrer la diversité de productible possible à l'échelle d'une même région, selon diverses orientations et selon les masques lointains associés !

Hypothèses communes : 10% perte de production ; 15° pente



Préfecture	Productible (en kWh/kWc/an) pour une centrale exposée sud	Productible (en kWh/kWc/an) pour une centrale exposée ouest	Productible (en kWh/kWc/an) pour une centrale exposée nord
Lille	1047	920	783
Moulins (03)	1180	1040	885
Saint-Etienne (42)	1180	1031	898
Annecy (74)	1190	1044	884
Bourg en Bresse (01)	1203	1070	904
Clermont-Ferrand (63)	1206	1050	892
Le-Puy-en-Velay (43)	1215	1074	934
Feurs (42)	1224	1075	912
Lyon (69)	1240	1056	913
Chambéry (73)	1244	1088	917
Grenoble (38)	1254	1089	928
Aurillac (15)	1290	1130	955
Privas (07)	1342	1151	993
Valence (26)	1363	1193	998
Montpellier	1473	1281	1054

Un productible réaliste !

Il est important de rester vigilant sur la valeur des productibles proposée par les installateurs. En effet, certains, pour accentuer la rentabilité du projet, surestiment cette valeur.

Une erreur même de quelques dizaines de kWh/kWc/an fait une différence lorsqu'elle est appliquée à un grand nombre de kWc et sur 20 ans.

Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?

2. Le coût de l'installation

Le coût d'une centrale PV diffère selon un certain nombre de critères. Cette partie s'attache à vous donner des références « de base », qu'il faudra compléter de ces fameux critères pour comprendre le coût de votre projet PV.

2.1 Ordres de grandeur d'investissement

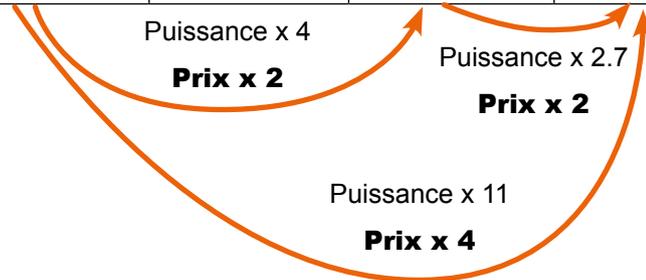
À NOTER

Les ordres de grandeur présentés ci-dessous sont définis pour une centrale « simple d'installation » et constituée « d'éléments matériels standards ». Il ne s'agit en aucun cas de prix plancher !

Vous trouverez ci-dessous deux tableaux regroupant les coûts références à date d'écriture du Guide PV (été 2023) :

Tableau 1 - Ordre de grandeur d'investissement - centrale <100kWc

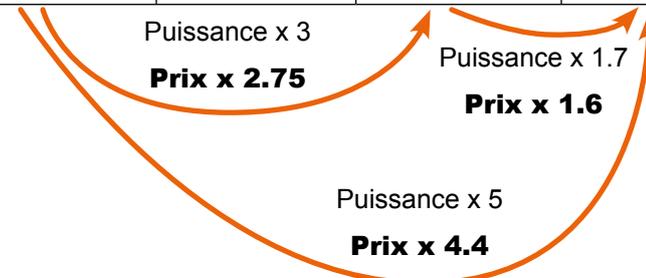
Puissance de la centrale (kWc)	9 kWc	20 kWc	36 kWc	100 kWc
Investissement total (€HT)	20 000	28 000	40 000	80 000
Coût par Wc (€HT/Wc)	2.22	1.40	1.11	0.80



On constate que l'effet d'échelle sur les centrales de petite puissance (i.e. inférieure à 100kWc) est très important

Tableau 2 - Ordre de grandeur d'investissement - centrale >100kWc

Puissance de la centrale (kWc)	100 kWc	150 kWc	300 kWc	500 kWc
Investissement total (€HT)	80 000	115 000	220 000	350 000
Coût par Wc (€HT/Wc)	0.80	0.77	0.73	0.70



À NOTER

Le coût au Wc permet une comparaison simple entre centrales de différentes puissances. Les installateurs proposent rarement les mêmes puissances pour un même projet.

On constate que l'effet d'échelle est bien plus faible ici. L'intérêt de l'agrandissement se portera sur la dilution des charges et du coût de raccordement

2.2 Les facteurs de modification du coût

Complexité d'installation et coût

On entend par « simple d'installation » une centrale PV réalisée sur une unique toiture, avec des distances de raccordement entre les modules PV, les onduleurs, le tableau électrique et le PDL les plus directes et courtes possibles

Facteurs de modification	Faisabilité	Raisons d'augmentation du coût
Nombre de toiture	La rentabilité du PV et la technique permet d'imaginer l'installation <u>d'une</u> centrale sur plusieurs toitures et sous plusieurs orientations.	Temps et gestion de chantier, pour l'installation initiale et pour la maintenance/entretien, sont plus importants (montage/démontage des matériels, sécurisation du chantier, ...)
Distance entre bâtiments	Une distance de quelques mètres est gérable en termes de perte de production (déplacement de l'électricité à faible tension = perte)	Augmentation du coût matériel (câbles) et de la main d'œuvre pour la préparation (si tranchée, souvent par l'agriculteur) et la pose.

→ Raison pour laquelle les centrales de grande puissance (i.e. >300kWc) peuvent avoir des coûts rapportés au Wc plus important que des centrales plus petites. Leur complexité d'installation est tout simplement plus importante. Pour l'économie globale du projet, cette différence a de grande chance d'être compensée par la dilution des charges et l'optimisation du coût de raccordement.

Différence de matériel et coût

On entend par « matériel standard » des modules PV et des onduleurs centralisés aux performances dans la moyenne du marché, et dont le système d'intégration est pour bac acier.

Pour plus d'information sur le bon choix matériel, reportez-vous aux parties dédiées (pages 7 à 13).

Autres éléments

Au-delà de la technique, la variation du coût va dépendre de la situation géographique de l'exploitation. D'un département à l'autre le coût de la MO et des matériaux n'est pas le même. De ce fait le prix sera plus élevé ou plus faible du simple fait d'être situé dans un département où l'ensemble des prestations sont plus ou moins chères

Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?

3. Le raccordement

La notion de « raccordement » regroupe les travaux de connexion de la centrale PV sur le RPDE (à partir du PDL). Pour rappel : la zone entre la centrale PV et le PDL est à considérer dans le coût de la centrale.

Le coût de raccordement peut impacter fortement la rentabilité du projet, notamment pour les centrales de forte puissance (>36kWc). Il est donc intéressant de connaître la situation de son projet par rapport au RPDE.

3.1 Adaptation du RPDE et coûts associés

Du fait d'une conception inadaptée du RPDE à la production d'énergie décentralisée, le raccordement d'EnR nécessite des adaptations coûteuses. C'est au porteur de projet PV de s'acquitter du montant des travaux.

Néanmoins, pour faciliter le développement des EnR, l'État prend en charge une partie de ce montant, c'est ce que l'on appelle la réfaction.

À ce jour, la réfaction (i.e. La prise en charge) est de 60% du coût de raccordement

Le coût de raccordement peut comprendre (au cas par cas) :

- L'adaptation de la ligne électrique entre le transformateur et le PDL,
- L'adaptation du transformateur sur lequel la centrale PV sera raccordée,
- La quote-part S3REnR (voir dénomination détaillée ci-dessous).

Dans le détail :

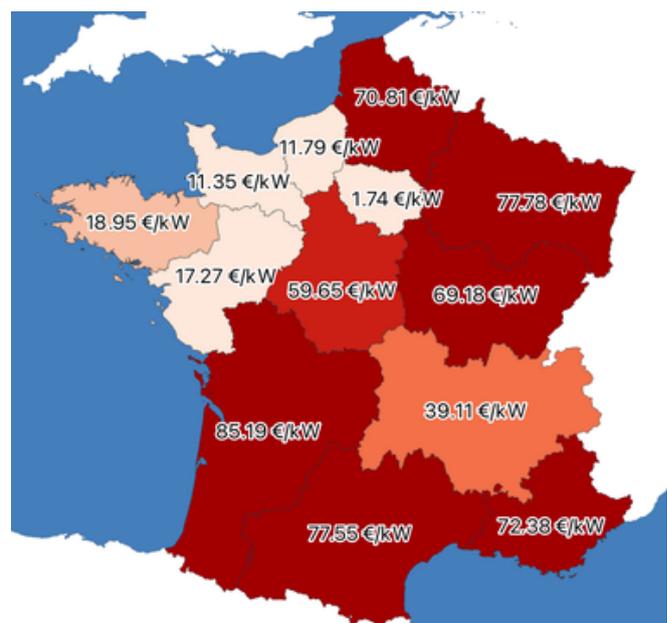
L'adaptation de la ligne électrique est en général le plus onéreux. Les lignes de petites puissances sont très répandues en zone rurale, et souvent aériennes. Lors de la mise en place d'une centrale PV, les lignes sont renforcées (augmentation de capacité) et enterrées.

L'adaptation du transformateur se traduit par son remplacement pour un autre (neuf ou d'occasion) dont les caractéristiques sont adaptées à la centrale installée. En zone rurale les transformateurs sont souvent aériens, éloignés des exploitations et de petites puissances. Lors de la mise en place d'une centrale PV, le transformateur est souvent remplacé par un modèle plus puissant, déplacé au plus près de la zone de production, et si la puissance requise l'exige, ramené au sol. Tout cela peut nécessiter l'acquisition de foncier et la réalisation de nouvelles infrastructures.

La quote-part du Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Énergies Renouvelables (S3REnR) est un montant dédié au financement de l'adaptation du réseau électrique à la production d'EnR. Ce montant est dû par les gros producteurs d'EnR raccordés a minima en Haute Tension A (HTA). Soit, pour le PV, les centrales supérieures à 250kWc.

La valeur de cette quote-part est un montant exprimé en €/kW (ou kWc pour le PV), et est dûe à la création du projet. Ce montant est réévalué le 31 janvier de chaque année.

Ci-contre la cartographie des coûts au kW par région (par Hespul, sur la base des données RTE du 7 octobre 2022).



3.2 Échelle de coût de raccordement

Compte tenu de l'importance des travaux de raccordement, le coût potentiel peut-être extrêmement varié, notamment pour les projets de fortes puissances. Pour les petites puissances, le réseau y étant adapté, les coûts sont en général raisonnables et varient peu autour des références ci-dessous.

■ À NOTER

Dans tous les cas, attention aux mauvaises surprises. Il est préférable d'obtenir le montant du raccordement avant d'entamer les travaux sur la centrale. En cas de montant trop élevé, il sera plus facile de faire machine arrière si la centrale PV n'est pas encore sur la toiture.

Tableau 3 - Fourchette de coût réfacté de raccordement par puissance

Puissance de la centrale	Type de réseau	Fourchette basse	Coût référence ¹	Fourchette haute	Commentaire
< 18 kWc	Basse Tension (BT) monophasé	50 €	68 €	100 €	Le réseau présente rarement de difficulté à intégrer ces productions. Et pour cause cela correspond aux compteurs que l'on trouve dans une maison individuelle.
< 36 kWc	BT triphasé	500 €	3 000 €	10 000 €	Ici la puissance peut mettre en difficulté certains réseaux ruraux. Bien qu'avec l'augmentation des consommations sur les exploitations cela soit de plus en plus rare.
< 100 kWc		7 000 €	15 000 €	40 000 €	A partir de 100kWc, les réseaux de zone rurale sont généralement inadaptés. La distance de raccordement joue beaucoup dans le prix, ce qui explique une grande variabilité du coût. Il peut même être demandé un départ direct en HTA, souvent éloigné des exploitations.
< 250 kWc		7 000 € (<160kWc)	25 000 €	70 000 €	
< 500 kWc ²	HTA	25 000 €	50 000 €	+100 000 €	Les postes transformateur HTA/BT sont rarement disposés proches d'exploitation agricole. De ce fait les coûts de raccordement sont généralement élevés. La quote-part S3REnR se rajoute au tableau.

1 : coût en général observé sur le terrain, pris dans les calculs réalisés par nos services.

2 : Au-delà de 250kWc (onduleur) vous devenez propriétaire du transformateur, et avez à charge sa maintenance (voir détail dans la partie maintenance page 46).

3.3 Démarches de demande de raccordement

La demande de raccordement auprès d'Enedis est gratuite. Cette démarche est en général réalisée par l'installateur PV via un mandat d'exécution. Ce dernier peut même la sous-traiter à un autre bureau d'étude spécialisé. Vous pouvez bien sûr la réaliser par vous-même sur le site internet d'Enedis. Dans tous les cas, veillez à bien obtenir les documents de demande pour archivage, et surtout les éléments de réponse de la part d'Enedis.

Le délai d'obtention d'une Proposition Technique et Financière (PTF) de la part d'Enedis, autrement dit le devis pour les travaux de raccordement, est de 3 mois (1 mois si inférieur à 3kVA). Le porteur de projet dispose de 3 mois pour valider cette proposition, faire une réclamation, faire une modification ou annuler la demande.

■ À NOTER

Une demande de raccordement peut mutualiser une demande pour soutirage et celle pour la production d'électricité.

Il est possible de mutualiser plusieurs demandes de raccordement dans un même périmètre afin de diluer les coûts. L'étendu du périmètre est défini par Enedis au cas par cas (quelques centaines de mètres). Cette mutualisation peut également être réalisé avec d'autre entités juridiques (en cas d'abandon de l'une d'elles, le coût est réparti entre les restants).

Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?

4. La valorisation de l'énergie

4.1 Cadre réglementaire et démarche associée

Les conditions de contractualisation et de rémunération du PV en France est régit à date par l'arrêté S21¹

Celui-ci fixe les conditions d'éligibilité suivante :

- La centrale doit être d'une puissance inférieure à 500kWc
- La centrale est disposée sur un hangar, un bâtiment ou une ombrière (inclus serres agricoles, hors parcours)
- L'électricité produite sera valorisée selon l'une des trois modalités suivantes : vente totale, autoconsommation avec vente du surplus et autoconsommation totale. Voir ci-après.
- L'installateur doit détenir des qualifications spécifiques pour réaliser une centrale (voir page 48)

À NOTER

Les centrales de plus de 500kWc disposent également de tarif d'achat de l'électricité, via un appel d'offre de la CRE, et de conditions de réalisations spécifiques. Nous n'aborderons pas ces puissances dans le présent guide.

Cette réglementation fixe les conditions d'un contrat en Obligation d'Achat (OA) d'une durée de 20 ans qui est proposé et garantie par l'État

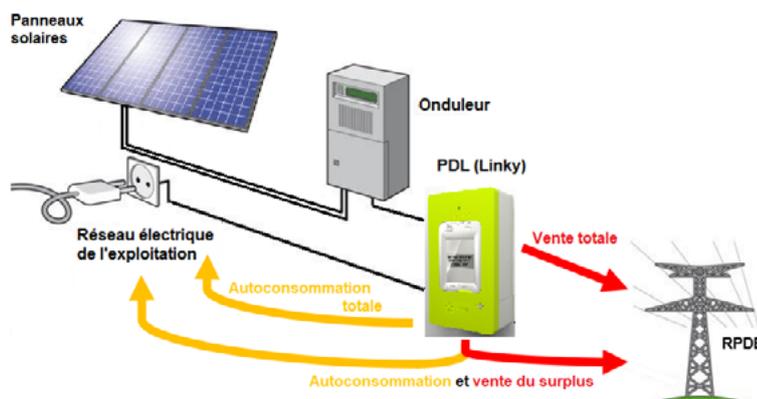
Cette contractualisation est classiquement réalisée avec l'entreprise EDF OA.

Elle n'est possible que pour des centrales PV n'ayant jamais fonctionnées.

Modalité de vente de l'électricité

1. Vente totale (VT) : la totalité de l'énergie produite est vendue sur le réseau
2. Autoconsommation et vente du surplus (ACVS) : l'énergie produite est consommée au maximum sur site (directement ou via stockage physique). L'énergie qui ne peut être consommée est vendue sur le réseau.
3. Autoconsommation totale : l'énergie produite est consommée dans sa totalité sur site, stockée ou perdue. Le réseau peut en absorber une faible part.

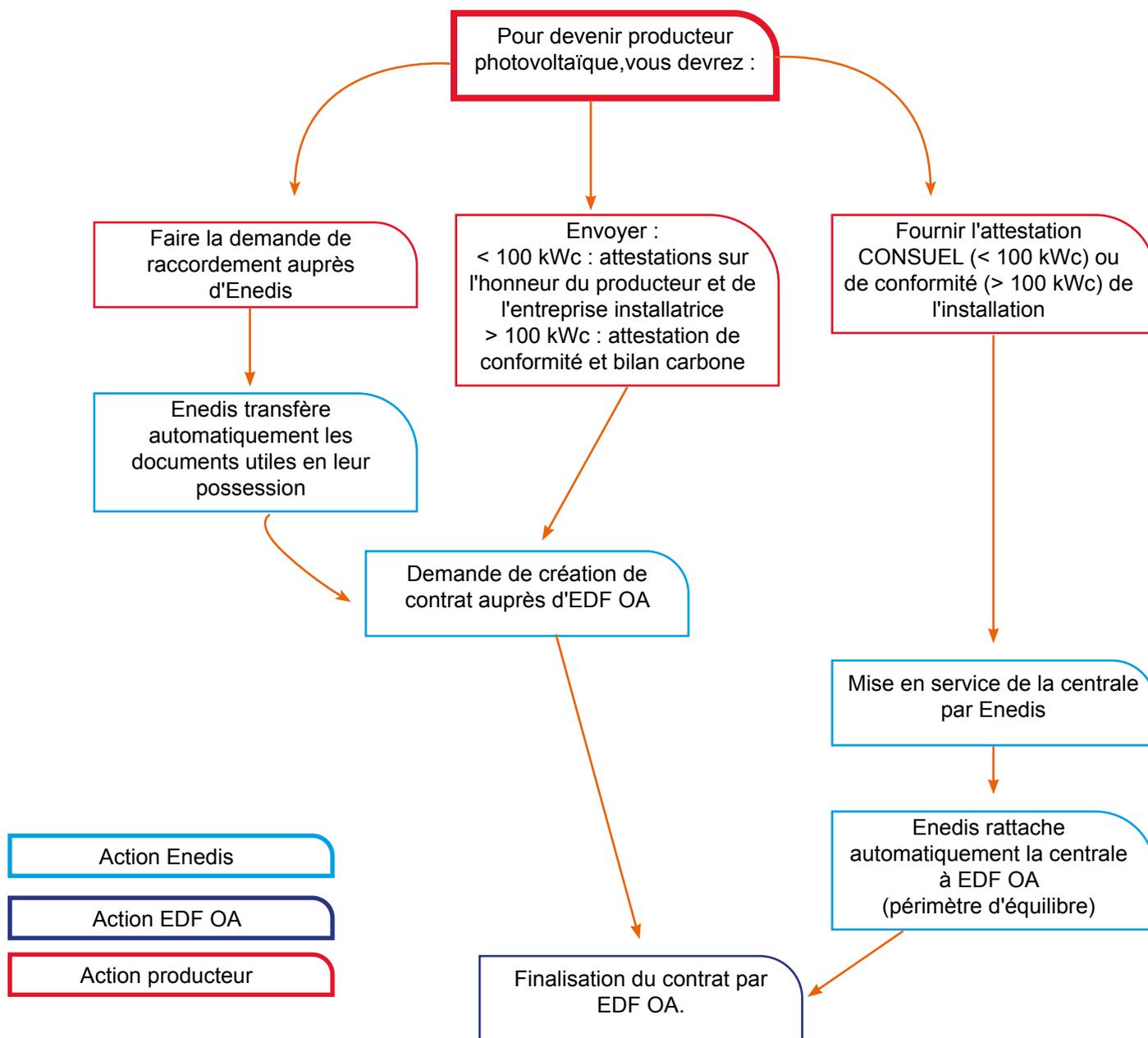
Ces modalités sont présentées en détail dans les parties ci-après.



¹Plus précisément : arrêté du 6 octobre 2021, modifié à trois reprises, par l'arrêté du 28 juillet 2022, l'arrêté du 8 février 2023 et l'arrêté du 4 juillet 2023, afin de prendre en compte l'influence de la situation géopolitique mondiale sur l'économie et l'énergie.

Comment obtient-on un contrat ?

Schéma de réalisation des démarches :



Les actions à charge du producteur dans ce schéma peuvent être partiellement ou totalement réalisées par l'installateur au travers d'un mandat. Au même titre que pour la demande de raccordement.

À NOTER

Le contrat d'achat vous parviendra après la mise en service de la centrale PV. Pas d'inquiétude, le comptage de l'électricité vendue se fait bien à partir de la mise en service, et non de la signature du contrat.

Pour réaliser toutes ces démarches, aidez-vous des guides réalisés par EDF OA directement sur leur site internet :

edf-oa.fr

Modification du contrat après mise en service

Le contrat d'OA est modifiable à la marge après mise en service de la centrale.

Les modifications possibles sont notamment :

- L'identité du producteur : en effet, ces contrats sont cessibles. Autrement dit, en cas de cessation d'activité agricole, ou autre souhait de se séparer de la centrale PV, le contrat perdurera jusqu'à échéance même en cas de changement de propriétaire.
- La modalité de valorisation de l'électricité : Le S21 introduit cette clause qui permet de changer de modalité de valorisation de l'électricité deux fois pendant la durée du contrat, avec un minimum de 2 ans entre deux changements.

L'activation de cette clause a pour conséquence :

- Lors du passage d'ACVS vers la VT, le remboursement total ou partiel de la prime autoconsommation (AC°), voir description de cette prime page 37.
 - Totale : si contrat < 5 ans
 - Partielle : si contrat > 5 ans et au prorata du temps passé en ACVS

Exemples :

Une bascule à la 7^{ième} année entraînera le remboursement de $1170 - (1170 \times (7-5)/15) = \mathbf{1014 \text{ euros}}$.

Une bascule à la 15^{ième} année entraînera le remboursement de $1170 - (1170 \times (15-5)/15) = \mathbf{390 \text{ euros}}$

- A l'inverse, le passage de VT à ACVS ne permettra pas d'obtenir la prime AC°
- L'ajout de système de stockage d'électricité
- La modification de la puissance : uniquement dans le cas d'une baisse de puissance.

La réglementation ne permet pas l'augmentation de puissance d'une centrale PV déjà en fonctionnement.

Il existe néanmoins une tolérance de +10% de la puissance pour le remplacement de module PV d'ancienne génération qui n'aurait pas d'équivalent sur le marché à date de remplacement.

Par exemple les modules PV de génération 2010 dont des équivalents sont introuvables aujourd'hui notamment du fait de leur faible puissance (voir comparatif page 8).



4.2 La vente en totalité de la production (VT)

En VT l'énergie produite est intégralement vendue à EDF OA.

Il s'agit de la modalité de valorisation la plus simple à évaluer économiquement et la plus sécurisée.

Règle de calcul du prix d'achat

L'arrêté S21 donne une formule de calcul du prix auquel sera acheté l'électricité via le contrat avec EDF OA.

Dans un esprit de simplification de lecture, la formule ne sera pas écrite ici.

Concrètement, cette formule définit un tarif, à chaque nouveau trimestre, en fonction :

- de la tranche de puissance (kWc) dans laquelle se trouve votre centrale : voir tableau ci-après

- du nombre de demande complète de raccordement : nommé coefficient de dégressivité.

Ce coefficient est plus ou moins important en fonction du nombre de demande de raccordement enregistré par Enedis au trimestre précédent. Plus il y a de demandes, plus le prix baisse (en lien avec les objectifs nationaux de production d'EnR définis par la Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE)).

- de sept indices économiques de l'INSEE : regroupés sous le nom de coefficient kN, et concernant diverses activités industrielles, coût des matériaux nécessaires à la fabrication des éléments d'une centrale PV¹ et la dette publique. Soit indirectement, le tarif est influencé par l'inflation.

L'objectif de ces mouvements de tarif est de garantir une rentabilité suffisante pour les porteurs de projet PV, tout en épargnant au maximum le budget de l'État mis à contribution pour assurer ce tarif d'achat aidé.

La CRE dispose de 21 jours après les dates butoirs pour annoncer le nouveau tarif.

Ces dates butoirs de changement de trimestre sont : 1^{er} février, 1^{er} mai, 1^{er} août et 1^{er} novembre.

Attribution d'un tarif d'achat et évolution

En tant que nouveau porteur de projet, votre tarif sera sécurisé à date de la demande complète de raccordement.

En tant qu'exploitant PV, ce prix d'achat sécurisé n'est plus soumis aux coefficients précédemment cités. Il n'est soumis qu'à un coefficient INSEE, le coefficient L, lié aux activités industrielles en France. Ce dernier n'a au cours de ces dernières années évolué que de -1 à +1 % / an, principalement à la hausse.

Concrètement, c'est quoi les prix ?

Au 1^{er} août 2023² :

Type de tarif	Puissance installée*	Tarif du 01/02/2023 au 30/04/2023	Tarif du 01/05/2023 au 31/07/2023
	En kWc	En c€/kWh	
Tarif Ta**	≤ 3	23.49	23.95
	3 < x ≤ 9	19.96	20.35
Tarif Tb**	9 < x ≤ 36	14.30	14.58
	36 < x ≤ 100	12.43	12.68
Tarif Tc***	100 < x ≤ 500	12.87	13.12

*La puissance de votre projet est définie par la formule P+Q, voir partie dédiée page 43.

**Les tarifs Ta et Tb sont valables jusqu'à un productible de 1600kWh/kWc, au-delà, l'énergie est achetée à 5c€/kWh

***Le tarif Tc est valable jusqu'à un productible de 1100 kWh/kWc, au-delà, l'énergie est achetée à 4c€/kWh

Exemple : centrale de 200kWc à 1200 kWh/kWc, 200 x 1100 = 220 000kWh à 13,12€/kWh, et 200 x 100 = 20 000 kWh à 4c€/kWh

À NOTER

Vous devrez réaliser la facturation de votre production d'électricité à EDF OA. Cette facturation se fait une fois par an pour les centrales inférieures à 36kWc, deux fois par an au-delà. EDF OA met à votre disposition un formulaire simplifié qui sera présent dans l'espace producteur de votre compte internet EDF OA.

¹Les coefficients sur les matériaux ont été introduit par l'arrêté modificatif du 2 février 2023 suite à la crise énergétique de 2022

²Pour consulter les tarifs à jour, reportez-vous à notre flyer PV sur le site internet de votre Chambre d'agriculture

4.3 L'autoconsommation avec vente du surplus (ACVS)

En ACVS, l'énergie produite est utilisée au maximum sur le réseau électrique de l'exploitation, et ce qui ne peut être consommé est vendu à EDF OA.

Cette modalité de valorisation est plus complexe à étudier mais peut être plus rentable que la VT.

À NOTER

Quelque soit le mode de valorisation choisi, la production PV sera toujours physiquement consommée au plus proche, soit, sur l'exploitation. Il ne s'agit que d'un cadre réglementaire.

On distingue deux cas de figure qui seront présentés en détail ci-après,

- l'ACVS avec une centrale d'une puissance inférieure à 100kWc,
- l'ACVS avec une centrale comprise entre 100 et 500 kWc.

Tarif d'achat du surplus

Les règles d'attribution du tarif d'achat de l'électricité sont les mêmes que pour la VT.

Le tarif d'achat évolue au même titre que celui de la VT (trimestriellement, application du coeff. de dégressivité et du coeff. kN).

Mais, contrairement à la VT, le tarif sécurisé n'est indexé à aucun coefficient. Il restera fixe pendant 20 ans. Voir chiffre ci-contre :

Type de tarif et de prime	Puissance installée	Tarif d'achat du surplus du 01/02/2023 au 30/04/2023	Tarif d'achat du surplus du 01/05/2023 au 31/07/2023
	En kWc	En c€/kWh	
Tarif Ta	0 < x ≤ 9 kWc	13.13	13.39
Tarif Tb	9 < x ≤ 100 kWc	7.88	8.03

Prime AC°

Il s'agit de la seule aide à l'investissement mobilisable pour du PV à ce jour (hors aide locale potentielle).

Cette aide est attribuée sur le même principe que les tarifs d'achat, et pour tout projet d'ACVS inférieur à 100 kWc.

Les montants sont modifiés de la même manière que les tarifs d'achat (trimestriellement, application du coeff. de dégressivité et du coeff. kN). Voir chiffre ci-contre :

Type de tarif et de prime	Puissance installée	Prime à l'investissement du 01/02/2023 au 30/04/2023	Prime à l'investissement du 01/05/2023 au 31/07/2023
	En kWc	En €/kWc	
Prime Pa	≤ 3 kWc	500	510
	3 < x ≤ 9 kWc	370	380
Prime Pb	9 < x ≤ 36 kWc	210	210
	36 < x ≤ 100 kWc	110	110

Le versement de cette aide se fait de deux manières :

- Projet < 9 kWc : totalité la première année
- Projet > 9 kWc : 80% du montant la première année, le restant est réparti sur les 4 années suivantes



Réaliser un projet < à 100 kWc

Ces projets sont les plus complexes à mettre en œuvre. En effet, ils demandent l'analyse de plusieurs paramètres, et surtout de leurs interactions.

Les Chambres d'Auvergne-Rhône-Alpes sont outillées pour vous aider !

1) Le pourcentage d'AC° théorique...

Il s'agit de l'étape la plus complexe à analyser. Elle est pourtant cruciale car elle influence grandement la rentabilité théorique du projet.

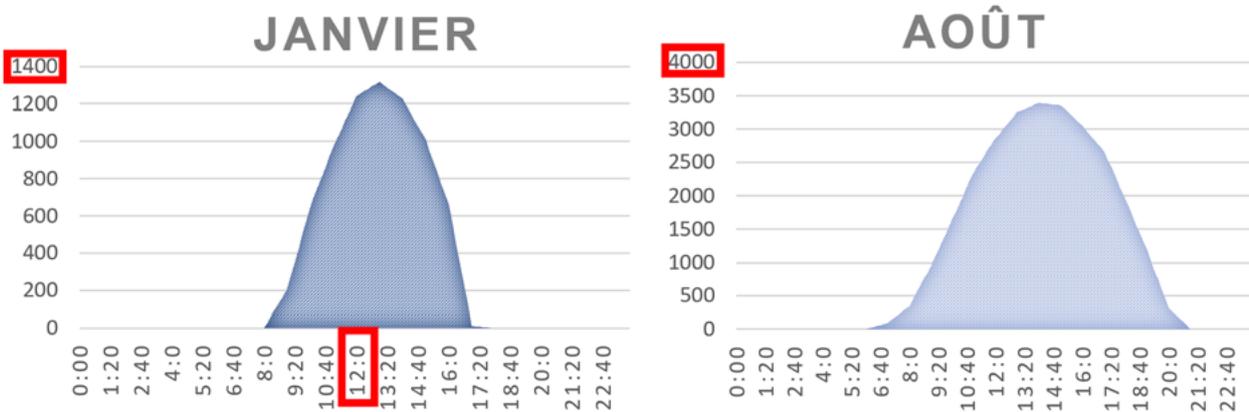
Dans cette partie on va chercher à confronter production PV et la consommation de l'exploitation. À la fois en termes de quantité, mais également de répartition sur la journée et l'année (voir graphiques).

À NOTER

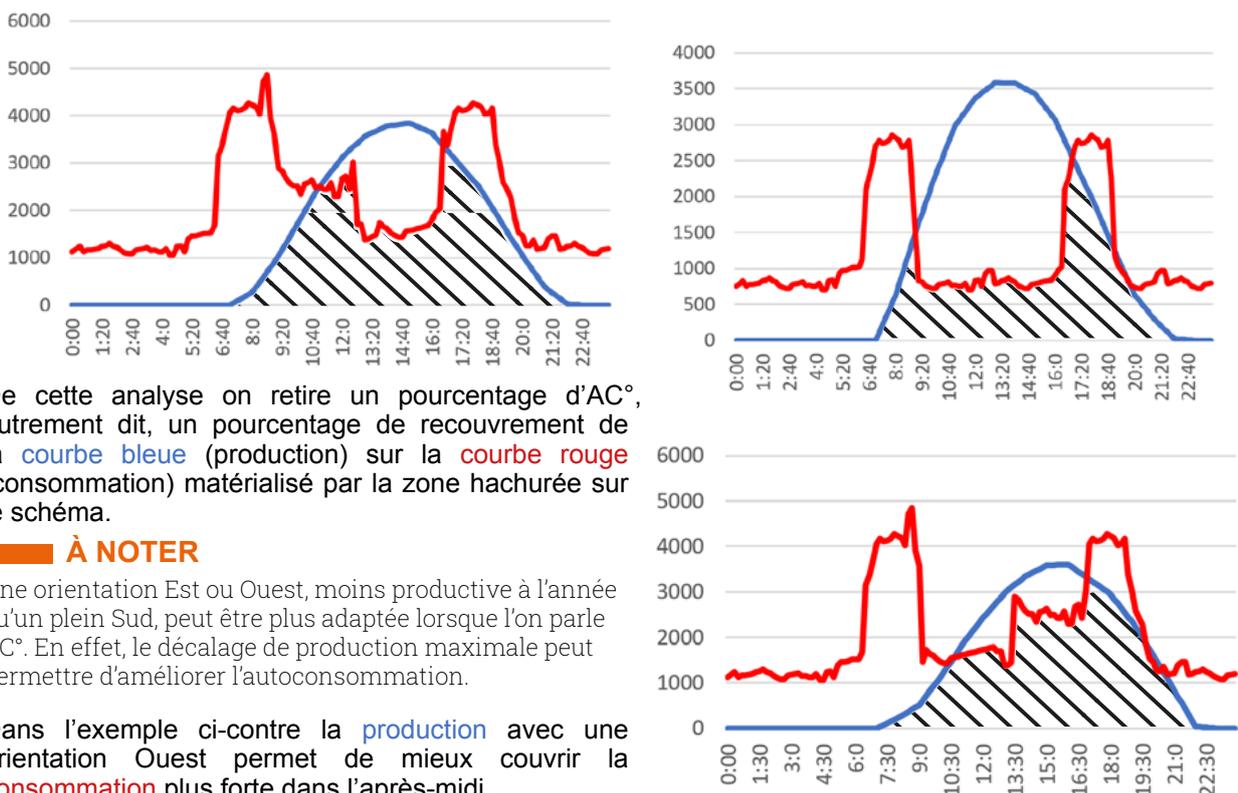
En amont d'un projet d'autoconsommation photovoltaïque il convient de chercher à réduire ses consommations d'électricité et à installer des équipements économes en énergie.

La confrontation

La production PV se fait principalement en milieu de journée, et en milieu d'année :



Pour avoir une AC° élevée il est donc nécessaire que vos consommations soient le plus en face de cette production (graphique de gauche), et non en décalé (graphique de droite) :



De cette analyse on retire un pourcentage d'AC°, autrement dit, un pourcentage de recouvrement de la courbe bleue (production) sur la courbe rouge (consommation) matérialisé par la zone hachurée sur le schéma.

À NOTER

Une orientation Est ou Ouest, moins productive à l'année qu'un plein Sud, peut être plus adaptée lorsque l'on parle AC°. En effet, le décalage de production maximale peut permettre d'améliorer l'autoconsommation.

Dans l'exemple ci-contre la production avec une orientation Ouest permet de mieux couvrir la consommation plus forte dans l'après-midi.

Comment faire cette confrontation ?

Sans outil adapté il va être difficile de recréer les courbes ci-dessus.

Néanmoins, il est possible de :

A) Récupérer vos données de consommation via Enedis

Si vous disposez d'un compteur Linky ou d'un compteur C4 ou C3, Enedis met à disposition vos informations de consommation directement sur le site internet (via un compte client à créer).

Vous pouvez y obtenir vos courbes de consommation au pas de temps 10 minutes.

Il est possible que l'enregistrement des données de consommation ne se soit pas activé automatiquement, ou soit cantonné à une courte période (3-4 mois).

Vous pourrez activer l'enregistrement et/ou demander qu'il soit fait sur une plus longue période (max 2 ans).

B) Schématiquement reproduire ces données en se posant les questions suivantes :

- À quelle(s) période(s) ma consommation est la plus importante (été, hiver, ...) ?
- Quand est-ce que je consomme sur une journée (milieu de journée, identique à toute heure, variable, ...) ?
- Est-ce que cette consommation est identique tout l'année ?
 - ou si différente, quelle est la nature des changements (pic de conso plus faible, pic de conso à des heures différentes, consommation talon en hausse, ...)
 - et à quelle période de l'année est-ce (été, hiver, ...) ?

Ces fluctuations de consommation dépendent de l'activité sur l'exploitation, autrement dit, de l'utilisation de matériel. Identifier ce matériel vous aidera à identifier les fluctuations de consommations.

Réaliser un tableau comme l'exemple ci-dessous pourra vous aider :

CT1 = Consommation Talon – Chambre froide (1) ; séchoir fromage (1) ; chauffage fromagerie

CT2 = Consommation Talon – Chambres froides (2) ; séchoirs fromages (2)

CT3 = Consommation Talon – Chambres froides (2) ; séchoirs fromages (2) ; chauffage fromagerie

Mois \ Plage horaire	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22
Janvier		Transformation (peu) Nettoyage CT1						
Février	Traite (6-7) CT1							
Mars								
Avril		Transformation Nettoyage CT2		Séchage en grange CT2		Traite (17-19) CT2		CT2
Mai								
Juin	Traite							
Juillet		Transformation Nettoyage CT2		CT2		Traite (17-19) CT2		CT2
Août								
Septembre								
Octobre		Transformation (diminution) Nettoyage CT3		CT3		Traite (17-19) CT3		CT3
Novembre	Traite							
Décembre	Traite (6-7) CT1			CT1		Traite (17-18) CT1		CT1

Conclusion tirée de cet exemple :

Année : Le gros des consommations se fait en milieux d'année, au pic de production PV. Seule la période octobre/novembre, le plus fort des consommations, sort du lot. Toute l'activité (pic de consommation et CT) baisse à l'hiver, ce qui n'est pas problématique car il y a peu de production PV à ce moment-là.

Journée : Les pics de consommation ont lieu lors des traites, et toute la matinée du fait de la transformation fromagère, soit en face de la meilleure production pour une centrale PV orientée Est. La CT dûe aux deux chambres froides et aux deux séchoirs est importante sur toute la journée. La moitié de ces machines sont arrêtées à l'hiver.

Autre : Le séchage en grange est un « bonus » pour l'ACVS en ajoutant des consommations en milieu de journée pendant quelques semaines de l'année où la production PV est forte.

2) Et son évolution dans le temps.

Compte tenu du fait qu'il y a AC° quand il y a activité, l'évolution de cette dernière influence l'intérêt du projet. Trois situations se présentent :

- L'exploitation va à l'avenir augmenter ses consommations, par exemple : création d'un atelier de transformation, passage à des robots de traite, augmentation des volumes produits, ...
 - Dans ce cas il pourra être pertinent d'installer une centrale PV plus puissante (i.e. une AC° plus faible au départ) afin de prendre en compte ces consommations à venir.
- L'exploitation devrait maintenir ses consommations sur le long terme. Il faut concevoir le PV au plus juste.
- L'exploitation va à court ou moyen terme voir ses consommations baisser, par exemple : réduction des volumes produits, arrêt d'un atelier énergivore, cessation d'activité sans repreneur, ...
 - Dans ce cas l'ACVS est à étudier avec prudence. La possibilité de bascule entre les modalités de valorisation de l'électricité présentée en 4.1 (voir page 35) est un filet de sécurité, l'énergie vendue est mieux valorisée en VT qu'en ACVS, mais reste une solution à rentabilité limitée.

3) Le prix de « votre » électricité

La rentabilité d'une centrale en ACVS est la différence entre le prix de l'électricité achetée sur le réseau et le prix de l'électricité produite par votre centrale. Ici on s'intéressera au prix de « votre électricité ».

En ACVS il va falloir trouver un optimum entre ces deux extrêmes :

- Avoir une centrale de trop faible puissance : plus la centrale est petite, plus l'électricité produite est chère rapporté au kWh. Cela est dû à l'important effet d'échelle sur l'investissement pour les centrales dans ces gammes de puissances (voir 2.1 page 29).

On analyse cela au-travers du prix de revient. Autrement dit, le prix auquel vous payeriez votre kWh.

Exemple : Centrale exploitée 20 ans, à 1200 kWh/kWc/an, en VT :

Centrale de 9 kWc, 20 000€HT, prix de revient : 15.8 c€/kWh

Centrale de 36 kWc, 40 000€HT, prix de revient : 9,2 c€/kWh

- Avoir une centrale trop grande, autrement dit, qui produit trop par rapport à ce qui est consommé. Le prix de revient sera plus faible et l'AC° également.

On analyse cela à l'aide du tarif équivalent (Teq). C'est-à-dire du tarif théorique auquel vous auriez vendu l'électricité si vous étiez en VT. Plus le tarif équivalent est important, et plus il est éloigné du prix de revient, plus la centrale en ACVS est rentable.

Exemple : Centrale exploitée 20 ans, à 1200 kWh/kWc/an, en ACVS, et électricité consommée à 19 c€/kWh, prix de revient à 7c€/kWh :

Centrale de 36 kWc, AC° de 70%, Teq : 15.71 c€/kWh

Centrale de 36 kWc, AC° de 30%, Teq : 11,32 c€/kWh

Pour rappel :
tarif en VT = 14.58 c€/kWh

Dans tous les cas, le montant d'investissement exercera une influence sur le prix de votre électricité, tel qu'illustré par les exemples ci-dessus, 36kWc en VT, prix de revient à 9.2 c€/kWh contre 7 c€/kWh en ACVS avec prime AC°.

4) Le prix de l'électricité en tant que consommateur

La rentabilité d'une centrale en ACVS est la différence entre le prix de l'électricité achetée sur le réseau et le prix de l'électricité produite par votre centrale. Ici on s'intéressera au prix de l'électricité au réseau.

Plus celui-ci est élevé, plus la centrale PV sera rentable, et inversement. Attention à la distribution des HC.

Ex : Centrale exploitée 20 ans, à 1200 kWh/kWc/an en AC° à 70% :

Centrale de 36 kWc, prix de l'électricité consommée de 19 c€/kWh : 54 973 € de gains nets à 20 ans

Centrale de 36kWc, prix de l'électricité consommée de 16 c€/kWh : 40 612 € de gains nets à 20 ans

5) Conclusion

Il est donc nécessaire d'analyser son AC° théorique le plus finement possible afin de définir la taille de la centrale idéale pour obtenir un prix de revient suffisamment faible. Ce afin que la différence avec le prix d'achat sur le réseau permette une réelle économie, compte tenu du fait que le surplus à lui seul n'est pas rentable.

À NOTER

Attention au report de charge. En effet, moins de charge électricité = plus d'impôt/cotisation.

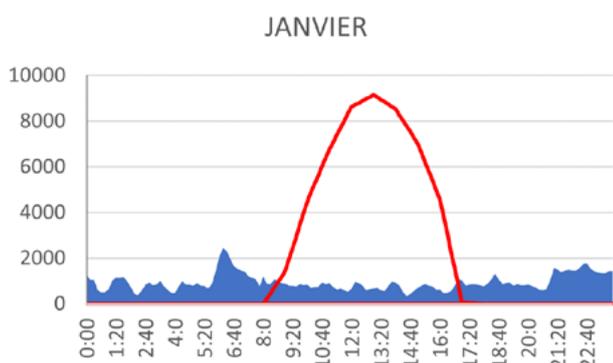
Réaliser un projet > à 100 kWc

Ces projets sont les plus rentables...

Dans ce cas de figure, l'énergie vendue en surplus est au même tarif que pour la VT. Autrement dit, le surplus est rentable à lui seul.

Rappel : Compte tenu de cette rentabilité, il n'y a pas de prime à l'investissement pour les centrales > à 100 kWc. Il n'est donc plus nécessaire de chercher à optimiser la taille de la centrale pour avoir le meilleur taux d'AC°.

Remarque : pour une exploitation de taille moyenne de type élevage avec transfo (~80 000 kWh/an), une ACVS supérieure à 100kWc aura très certainement un taux d'AC° faible (~10%), mais un taux d'autoproduction souvent plus élevé qu'une ACVS inférieure à 100 kWc (de l'ordre de 40% au lieu de 25-30% en ACVS < à 100 kWc).



Exemple : Élevage de chèvre avec transformation fromagère + séchage fourrage
250kWc plein ouest en janvier (courbe) :
= 12,5 % (janvier) / 8,8% (moyenne) d'autoconsommation
= 28 % (janvier) / 44 % (moyenne) d'autoproduction
Centrale conseillée : 30 kWc :
= 55% d'autoconsommation
= 34% d'autoproduction

... mais, pour raccorder cette centrale de forte puissance au compteur de l'exploitation, obligatoire en AC°, il est nécessaire que ce dernier soit adapté. C'est-à-dire, faire partie des catégories de puissance de soutirage idoïne. En l'occurrence :

- soit C4, ou tarif jaune, tranche > 36 à 249kVA
- soit C3, ou tarif vert, tranche > 250kVA

Et non au C5, ou tarif bleu, tranche < 36kVA, soit la majorité des cas des exploitations agricoles.

Deux cas de figure se présentent :

- Vous êtes déjà en C4 ou C3 : pas de problème particulier. Votre projet est intéressant à réaliser.
- Vous êtes en C5 : **Vigilance.**

Au-delà du coût d'adaptation du compteur (modification par un électricien agréé), passer sur un compteur C4 ou C3 force à être sur un contrat de soutirage correspondant. Ce choix peut avoir un impact sur votre facture d'électricité.

Le tarif C5 bénéficie d'une protection d'État au travers du tarif réglementé.

Les tarifs C4 (à partir de 42kVA) et C3 sont eux directement exposés au marché public de l'électricité.

À NOTER

Selon les conditions géopolitiques et économiques, le prix de l'électricité sur le marché public peut grandement varier. Historiquement inférieur au tarif réglementé, les tarifs sur le marché public sont depuis la crise énergétique 2022 devenu équivalents, après une période complexe à presque 5 fois le prix réglementé dans certains cas.

Ci-contre : graphique des prix d'achat de l'électricité pour le fournisseur d'énergie en fonction de la date de réservation (abscisse), et de l'année pour laquelle est réservé le tarif (différentes courbes).



4.4 Autoconsommation totale

En AC° totale, l'énergie produite est utilisée au maximum sur le réseau électrique de l'exploitation, et ce qui ne peut être consommé est perdu, ou réinjecté à titre gratuit sur le RPDE.

Cette modalité vaut surtout en zone non alimentée par le RPDE, ou sur une ligne électrique de très faible capacité.

Économiquement, se priver d'une voie de valorisation telle que la vente de surplus n'a de sens que dans de très rares cas. En l'occurrence, les cas où se raccorder au RPDE, ou faire adapter ce dernier même pour une centrale de petite puissance (< 9kWc), coûte extrêmement cher. En France ces situations restent plutôt rares.

Techniquement, l'autoconsommation totale pose plusieurs problèmes :

- Si raccordé au RPDE :

Le réseau peut absorber une partie de l'énergie produite pour une tension maximum de 3kVA.

Au-delà, tout dégât causé par la centrale sur le RPDE, ou accident avec une personne intervenant sur le RPDE, sera de la responsabilité du producteur PV. En effet, en autoconsommation totale, Enedis ne vérifie pas la capacité du réseau à absorber la puissance de la centrale installée. Considérant que sa faible puissance d'injection (< 3kVA) n'aura pas d'impact sur celui-ci.

- Si non raccordé au RPDE :

- o Les onduleurs PV sont conçus pour injecter l'électricité produite dans un réseau de qualité (matériel et qualité du courant). Dans le cas contraire, la majorité des onduleurs fourniront un courant d'une moindre qualité. Ce courant peut générer des dommages sur le matériel alors utilisé.

- o Une centrale PV fournit une puissance directement dépendante de l'ensoleillement. L'onduleur adapte la quantité et la qualité du courant en fonction de ce qu'il reçoit. Sans réseau, ou sans stockage tampon, la puissance pourra ne pas être suffisante pour faire fonctionner le matériel souhaité.

Pour pallier à ces problèmes l'ajout d'une batterie de condensateur et de batteries sera nécessaire. Le réseau électrique ne pouvant pas pallier aux manquements de la centrale PV.



4.5 La règle P+Q

Cette règle définit la tranche de puissance de votre projet au regard des tarifs d'achats d'électricité (page 36).

Cette tranche de puissance dépend de :

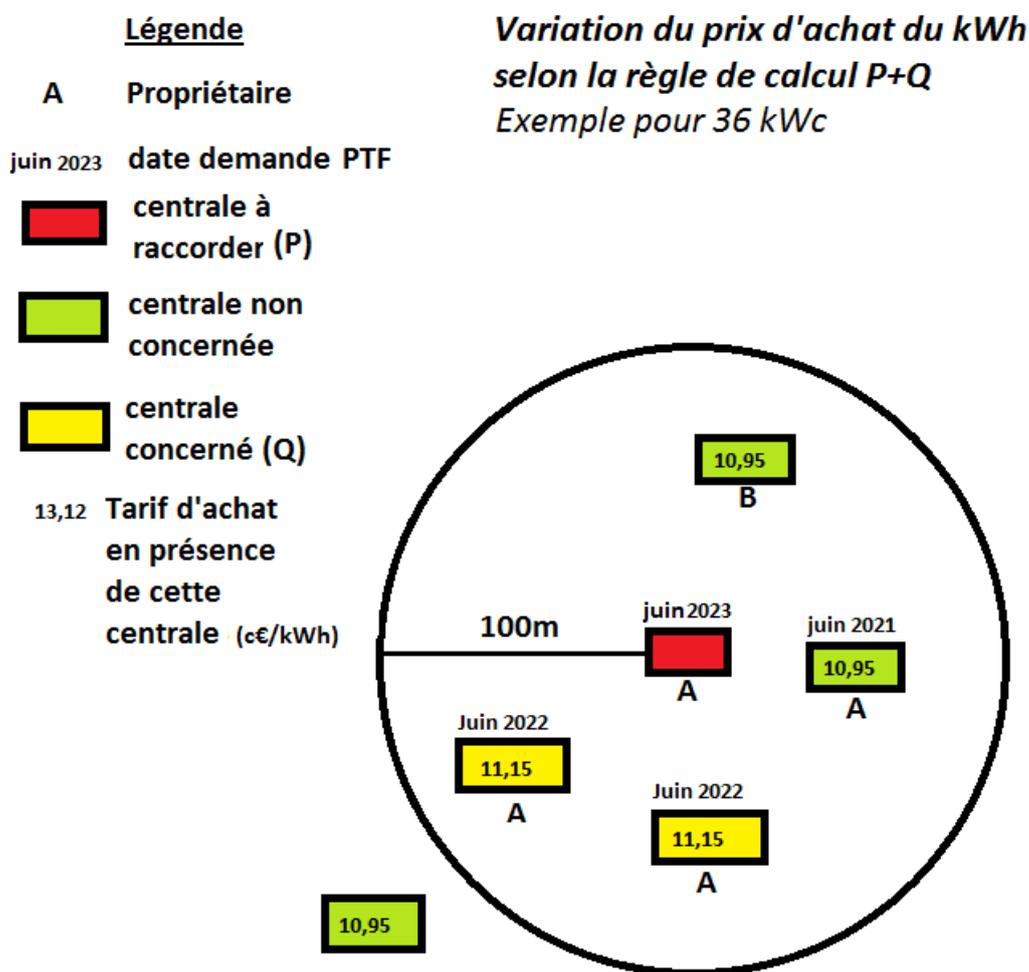
P = Puissance de la nouvelle centrale à raccorder

Et

Q = Puissance des centrales concernées par les critères suivants :

- Même propriétaire que la centrale P
- Dont la demande de raccordement (PTF) date de moins de 18 mois
- Dans un rayon de moins de 100 m à vol d'oiseau

Le schéma ci-dessous récapitule ces éléments :



Exemple : Un éleveur installe une centrale de 36kWc en février 2023 et vend la totalité de sa production au tarif de 14,58 cts€/kWh. Il décide en juillet 2023 (+5 mois) de faire une demande de raccordement pour une nouvelle centrale de 100 kWc. La totalité des kWh provenant des 136 kWc situés sur les bâtiments de son exploitation, groupés dans un rayon de 100 mètres, seront revendus à partir de maintenant au tarif de 13,12 cts€, soit le tarif de la tranche 100-500 kWc.

Comment évaluer la rentabilité de mon projet ?

5. Les charges de fonctionnement

Aux produits de la vente d'électricité, ou aux économies faites sur vos factures, devront être soustraites le montant d'un certain nombre de charges de fonctionnement ou de prélèvements afférents à votre projet.

5.1 Le TURPE

Le Tarif d'Utilisation du Réseau Public d'Électricité (TURPE) est une taxe dont il faudra vous acquitter en tant que producteur d'électricité, et dont vous vous acquittez déjà d'une partie en tant que consommateur. Celle-ci est destinée à couvrir les charges supportées par les gestionnaires de réseau pour l'exploitation, le développement et l'entretien de ce dernier. Cette taxe est facturée annuellement, ou mensuellement selon la puissance du compteur, par point de livraison et par contrat.

Ainsi, sur un contrat de vente en totalité le TURPE comprend une composante de comptage et de gestion du contrat au titre du contrat d'accès au réseau. Pour une injection partielle (i.e. autoconsommation et vente du surplus), le producteur dispose d'un contrat unique pour son injection et son soutirage. Le montant détaillé ci-dessous est donc le surplus découlant de l'activité de producteur.

Ces montants sont annuels et sont ceux relatifs à la période du 01.08.22 au 31.07.23

	Injection en totalité (€HT/an)	Injection partielle (€HT/an)
$P \leq 36 \text{ kVA}$	34,32	8,28
$36 \text{ kVA} < P \leq 250 \text{ kVA}$	457,07	122,88
$P > 250 \text{ kVA}$	752,98	245,52

5.2 Les taxes

- IFER (Imposition Forfaitaire pour les Entreprises de Réseaux) : A partir du moment où votre centrale* atteint une puissance supérieure ou égale à 100 kWc, que vous vendiez en totalité l'électricité produite ou que vous en auto-consommiez une partie, vous serez soumis à cette taxe.

Au 1^{er} janvier 2023, l'IFER est fixée à :

- o 8,16€/kWc pour les installations mises en service avant le 01.01.2021
- o 3,394€/kWc pour les installations mises en service après le 01.01.2021

*Une centrale comprend l'ensemble des installations exploitées par un même redevable, situées sur un même lieu et affectées à la même activité de production d'énergie.

- CFE (Cotisation Foncière des Entreprises) : Bien qu'habituellement exonérée à compter du caractère agricole du bâtiment, la mise en place d'une activité commerciale (équipement de photovoltaïque) ne déroge plus à la règle. Ainsi, dès que le chiffre d'affaires est supérieur à 5 000€ par an, vous devrez vous acquitter de cette taxe, fixée par la collectivité, d'un montant situé entre 250 et 600€.

5.3 Provisionnement de charges

Pour prévenir d'éventuelles pannes et/ou le changement de pièces n'entrant pas dans les garanties matérielles, et comme pour toute activité économique, il peut être intéressant de provisionner une partie du résultat.

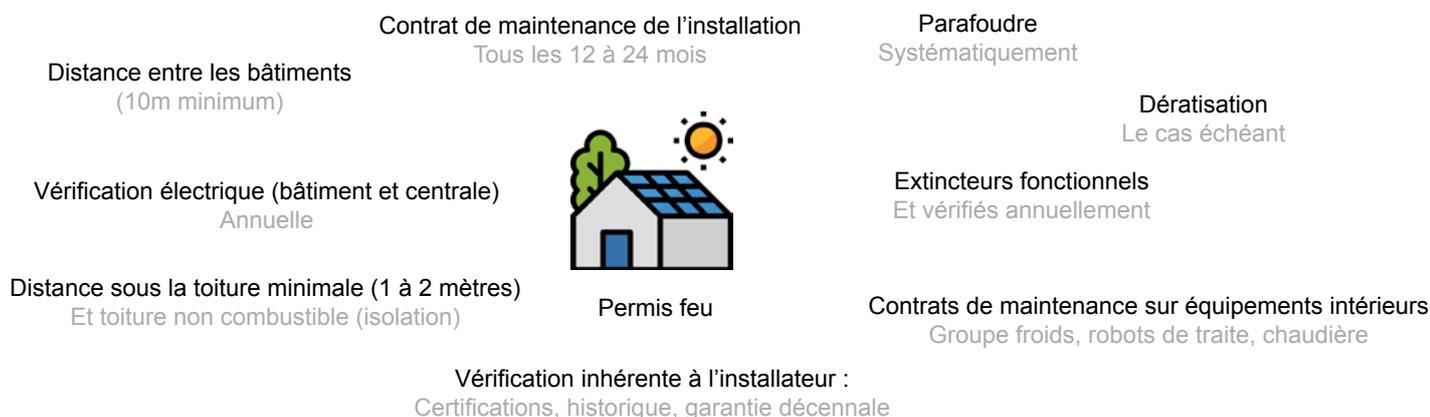
- La principale est le remplacement de l'onduleur aux alentours de la dixième année (sauf si garantie 20 ans pièces et MO) afin de maintenir le contrat avec EDF OA.

Si création d'une société propre à votre activité photovoltaïque, n'oubliez pas non plus de provisionner les frais de tenue d'une comptabilité annuelle ainsi que le coût de la création de ladite société.

5.4 Les assurances

Dès le début de votre projet il est nécessaire que vous preniez contact avec votre assureur (le même que celui de votre activité agricole) afin de vérifier avec lui les tarifs et les conditions relatifs à la présence d'une installation PV.

Les assureurs peuvent demander que plusieurs des mesures de prévention suivantes soient réunies :



Dans certains cas, votre assurance peut refuser d'assurer le bâtiment en présence de PV, ou le faire à des tarifs prohibitifs (exemple : stockage de fourrage). En effet, les conditions de souscription d'un contrat assurantiel et leurs tarifications peuvent s'avérer difficiles à négocier dans certains cas où les risques leur semblent multipliés.

En phase chantier

Lors du chantier vous devrez souscrire une assurance (ou vérifier que vous êtes couvert par la vôtre) en tant que maître d'ouvrage (MOA). En effet, votre responsabilité pénale peut-être remise en question en cas d'accident (cf partie bâtiment page 22).

Vous pourrez également souscrire une assurance qui permettra la finalisation des travaux même en cas de litige. Pour rappel, le contrat d'achat EDF OA vous laisse 24 mois pour mettre en service la centrale avant d'être caduque.

Il est également recommandé de vérifier la validité des assurances décennales des entreprises qui interviendront. À minima la date d'expiration et le type de travaux couverts.

En phase d'exploitation

En phase d'exploitation de votre centrale vous devrez contracter une assurance responsabilité civile. Étant connectée au réseau public d'électricité, cette assurance vous protégera pour le risque que votre installation sera susceptible de représenter « en dehors de chez vous » pour les autres usagers.

Selon votre souhait de protection, d'autres assurances facultatives existent. L'investissement et le chiffre d'affaires de votre centrale en découlant pouvant être conséquents, il est vivement conseillé d'étudier la souscription à ces assurances optionnelles.

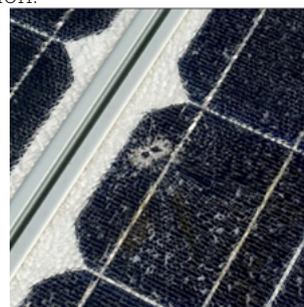
o Bris de machine : couvre les mêmes aléas qu'une assurance multirisques habitation par exemple. En cas de destruction ou de dommages sur la centrale (incendie, effondrement, bris de panneaux), elle vous sera remboursée, selon les conditions de votre contrat, au tarif du neuf ou avec un degré de vétusté associé.

■ **À NOTER**

Les organismes d'assurance rendent dans la plupart des cas obligatoire cette souscription.

o Pertes de production : La perte de production résulte de la non-fourniture d'électricité au RPDE suite à un sinistre sur votre installation (incendie, grêle, vol, bris de machine...). En cas d'arrêt prolongé, votre assurance vous indemniserait l'équivalent de cette perte pendant une durée et/ou un montant maximal défini.

La souscription à cette assurance est généralement relativement coûteuse mais peut s'avérer nécessaire lorsque votre lieu d'exploitation est régulièrement soumis aux aléas naturels.



5.5 Entretien et maintenance

Le photovoltaïque est un poste de votre exploitation peu chronophage.

L'entretien de la centrale reste cependant nécessaire afin de maintenir en parfait état de marche ce système.

La maintenance ne doit être réalisée qu'avec un professionnel qualifié, cependant, vous pouvez, à votre échelle, contribuer à la durabilité de votre installation.

Par l'exploitant

- Modules PV : Une inspection visuelle régulière peut permettre de détecter des défaillances (modules brisés, salissures, état de fixation des modules, ...). Une inspection de l'état et de la potentielle croissance de végétation à proximité est également nécessaire pour éviter l'ombrage ou la dégradation des modules.

■ À NOTER

Il est recommandé pour l'inspection des modules PV de se cantonner à un contrôle « vu d'en bas » afin de réduire les risques de chute. Pour votre usage, ou pour les entreprises de maintenance/entretien, une ligne de vie peut être installée afin de pouvoir circuler autour de la centrale en toute sécurité (disposée au faitage). Il est bien sûr déconseillé de monter sur les modules PV. Au-delà des dégâts que vous pourrez leur causer (de micro-fissure quasi invisible mais délétère pour la production à cassure significative), les modules PV sont extrêmement glissants.

- Installation électrique : L'inspection de l'installation électrique, tel que l'onduleur ou le tableau électrique de l'installation, sont à faire régulièrement (sans ouvrir les systèmes). Notamment le dépoussiérage afin de réduire les risques d'échauffement, et ainsi améliorer leur durée de vie.
- Suivi de production : Vous pouvez également suivre votre production en temps réel via du monitoring ou simplement grâce au compteur Linky.

Sans forcément contrôler la production chaque jour, il sera pertinent de consulter régulièrement ces données afin de détecter d'éventuelles pertes de production ponctuelles ou sur le long terme.

Pour les centrales de petites puissances, ne possédant qu'un seul onduleur, le suivi grâce au Linky peut être suffisant. Cela se fera grâce à votre compte client ENEDIS sur lequel vous trouverez toutes les données de production. Ce suivi est faisable en toute situation.

Pour les centrales plus imposantes ou dotées de micro-onduleur/optimizeur, il sera préférable de faire appel à du matériel/logiciel de monitoring. Ce monitoring peut être fait soit par :

- Un logiciel directement intégré à votre onduleur, ce qui est de plus en plus courant. Ces logiciels sont de qualité variée et un monitoring plus précis peut être préférable.
- Du matériel et un logiciel spécialisé. Il sera en général plus efficace pour l'analyse, la comparaison et la visualisation de votre production.

Les solutions de monitoring sont souvent associées à une prestation de suivi par votre installateur ou une entreprise dédiée (rarement par l'entreprise qui fournit l'onduleur). Le suivi sera fait à votre place par un logiciel qui comparera, en général chaque semaine, votre production à celles du pool de centrale PV du même secteur que l'entreprise a en gestion. Un professionnel pourra également contrôler manuellement ces chiffres et être force de proposition pour corriger d'éventuelles pertes de production.

- Alerte défaillance : Les onduleurs sont tous dotés d'un système d'alerte en cas de défaillance.

La communication de ces alertes est différente selon le matériel et le logiciel utilisé.

L'alerte peut être simplement affichée sur l'onduleur, ou de plus en plus par l'allumage d'une diode sur la façade de celui-ci. Ce qui nécessitera une inspection visuelle régulière de l'onduleur.

Un système de monitoring vous permettra généralement de recevoir les alertes sur votre ordinateur (via une application ou par mail), voir directement sur votre smartphone (application).

Une prestation de suivi, tel qu'évoqué au point précédent, est généralement associée à une surveillance des alertes par l'entreprise mandatée. En cas de défaillance, celle-ci vous contactera pour définir la marche à suivre pour gérer la situation, voir la gérer à votre place si tel est votre contrat.

Si vous détectez un dysfonctionnement (suivi de production, inspection visuelle), un diagnostic doit être posé sous 48h dans la limite des garanties fabricants.

Par l'installateur/mainteneur

- Maintenance préventive

Il est recommandé d'effectuer une visite de maintenance préventive :

- Tous les ans pour une puissance supérieure à 100kWc
- Tous les 2 ans pour une puissance supérieure à 36 kWc
- Tous les 3 à 5 ans pour une puissance inférieure à 36kWc

Ces recommandations tiennent compte de l'équilibre entre économie et risques de défaillance.

Le mainteneur se devra de disposer de toutes les habilitations nécessaires pour le travail qu'il effectuera (travail en hauteur, dispositions pour travailler sur les installations électriques) et de respecter les consignes de sécurité en découlant.



La visite de maintenance devra intégrer à minima :

- ✓ La vérification des protections électriques, des serrages et de l'absence de points de surchauffe (par thermographie infrarouges) à tous les niveaux de l'installation électrique (onduleur, câble, tableau électrique, boîtiers divers, ...)
- ✓ Le contrôle des points chauds (par caméra thermique), défaut d'étanchéité et autres fissures au niveau des modules PV,
- ✓ Le contrôle visuel de l'ensemble de l'installation : fixation, état des panneaux, propreté, ventilation du local onduleur, végétation environnante.

Il vous faudra également savoir sur le contrat : le délai d'intervention en cas de problème ponctuel, la durée du contrat, le prix, le nombre de visites, la présence d'un rapport de visite et le contenu d'une visite.

- Nettoyage des modules

En fonction de l'environnement et de la pente de votre toiture, les modules photovoltaïques se nettoient partiellement grâce à la pluie. En période sèche, et si les panneaux sont exposés à d'importantes salissures (paillage mécanisé, levée de poussière par le passage de machines, ...), il sera nécessaire de les nettoyer plus ou moins régulièrement.

Afin d'étudier la fréquence à laquelle vous aurez recours à un nettoyage de vos modules, il peut être opportun d'observer le niveau d'accumulation de salissure sur les premières années de production.

Il est recommandé de nettoyer les modules PV environ tous les deux ans à minima pour les grandes centrales (>100kWc). Les plus petites centrales, plus contraintes économiquement, peuvent réaliser un nettoyage moins régulier.

Ce nettoyage peut être réalisé par l'exploitant, mais pour des questions de sécurité et de coût, il est recommandé de faire appel à un professionnel.

Concrètement, le nettoyage se fait de plus en plus grâce à des robots spécialement conçus.

Néanmoins, un complément manuel peut-être nécessaire (rare). Une ligne de vie, tel qu'évoqué plus tôt, peut faciliter ce travail de nettoyage. Et le rendre plus sécurisé dans le cas où vous souhaiteriez le réaliser par vous-même. Dans ce dernier cas, veillez à l'utilisation de produits et matières (microfibre) adéquates pour éviter les dégradations.

Cette ligne de vie pourra également servir en cas de déneigement de la centrale. L'installation de modules photovoltaïques avec des rebords fins (cadre) ou sans rebord permet de limiter la stagnation de neige sur les panneaux.



Comment s'assurer du sérieux des propositions commerciales ?

1. Les qualifications

Bien choisir son installateur repose tout d'abord sur son sérieux et son expérience. Privilégiez également le choix d'un installateur local, permettant plus de réactivité dans l'avancement de votre projet et sa future exploitation.

Un gage de qualité reste cependant les qualifications de l'installateur et leurs validités. En effet, ces derniers sont tenus d'avoir des qualifications bâtiments et électriques à jour.

Afin de bénéficier d'un contrat d'achat, EDF OA demande que l'installateur soit certifié.

Organisme de certification	0 à 36 kWc	36 à 250 kWc	250 à 500 kWc
<p><u>Qualifelec</u></p> 	Qualification SPV1 (0 – 36 kVA)	Qualification SPV2 (36 à 250 kVA)	Qualification SPV3 (Supérieur à 250kVA)
<p><u>Qualibat</u></p> 	Qualibat 5911 (0 – 250 kWc)		Qualibat 5912 (Supérieur à 250 kWc)
<p><u>Qualit'EnR</u></p> 	<p><u>QualiPV Module Elec</u></p> <p><i>Quali module Bâtiment (n'est pas suffisante)</i></p> <p>QualiPV 36 (0 -36 kVA) QualiPV 500 (0 -500 kVa)</p>		
<p><u>AQPV</u></p> 	<p>Marque AQPV 0-100 kWc Marque AQPV 100-500 kWc</p>		

Comment s'assurer du sérieux des propositions commerciales ?

2. Les devis et modèles économiques des installateurs

Le devis, une fois signé, est l'élément qui vous engage à poursuivre le projet. C'est également le seul document qui regroupe les conditions de réalisation et la fourniture matériel que l'installateur est obligé de respecter par contrat. Comme pour tout devis, tout ce qui n'est pas écrit au moment de la signature n'est pas dû par le prestataire. En cas de corrections, négociations, ..., pensez à faire modifier le devis (à la main ou rééditer corriger) avant de le signer.

Ce que vous aurez souvent

Matériel : cité avec la mention « ou équivalent », avec ou sans fiche technique (parfois pas les bonnes)

Prix : global, sans détail, parfois en deux parties

Garantie : mention uniquement (i.e. sans papier justificatif)

Simulation économique : plus ou moins complète, claire et juste.

Assurance / certification : Peuvent être parfois périmées ou proches de l'échéance, inadaptées à la prestation, voir tout simplement manquante.

Ce qu'il faudrait avoir



Matériel : Connaître en définitive le matériel installé (i.e. faire disparaître la mention « ou équivalent »), avec fiche technique à l'appui (comparaison des garanties, des performances, ...)

Éléments techniques :

- Calepinage prévisionnel de la centrale, i.e. positionnement des différents organes de la centrale et répartition des strings. Permettra de s'assurer de la compatibilité avec les demandes et besoin de l'assurance, de l'activité agricole, des potentiels problèmes techniques (ombre portée ponctuelle, onduleur pas dans une zone de passage, etc...)
- Commentaire (oral ou écrit) sur l'état de la structure et/ou de la couverture, et les travaux potentiels.

Prix : global (somme et €/Wc), détail par élément de prestation (pose, administratif, etc), détail pour chaque matériel (exemple : prix de l'onduleur pour calculer la provision pour remplacement).

Étude économique : Une simulation économique complète (toutes les charges et taxes comprises, imposition sur société par exemple, un estimatif du coût de raccordement) et honnête (un productible juste, une évolution des charges non sous-estimée, une augmentation du tarif de consommation d'électricité cohérente, ...)

Assurance installateurs : Les assurances et garanties des installateurs PV doivent être fournies au début des travaux. Les dates de validité doivent couvrir toute la durée du chantier.

Maintenance/entretien : L'installateur doit vous présenter ses solutions de maintenances ou d'un partenaire ainsi qu'une proposition de paramétrage des outils de suivi.

Déroulé du projet : L'installateur doit vous présenter les étapes du projet, avec une chronologie de paiement et un engagement sur des dates.

À NOTER

Un devis mal réalisé n'est pas forcément synonyme de mauvaise entreprise. Il est cependant recommandé de s'assurer des conditions de prestations et du matériel fourni, surtout pour des investissements de plusieurs dizaines voire centaines de milliers d'euros. Pour ce faire, faites écrire ce qu'il manque avant de signer ! Une bonne entreprise n'y verra aucun inconvénient.

Liste des principaux sigles utilisés

ABF : Architecte des Bâtiments de France

AC° : Autoconsommation

AC/DC : Alternative Current (courant alternatif)
Direct current (courant continu)

ACV : Analyse de Cycle de Vie

ACVS : Autoconsommation et Vente du Surplus

AURA : Auvergne-Rhône Alpes

BT : Basse Tension

CFE : Cotisation Foncière des Entreprises

CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière

CONSUEL : Comité national pour la sécurité des usagers de l'électricité

CRE : Commission de Régulation de l'Énergie

DO : Dommage Ouvrage (assurance)

DP : Déclaration Préalable (de travaux)

DEEE : Directive Déchets d'Équipements Électriques et Electroniques

EnR : Energie Renouvelable

ERP : Etablissement Recevant du Public

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

GFA : Groupement Foncier Agricole

HTA : Haute Tension A

IAB : Intégré Au Bâti

IFER : Imposition Forfaitaire pour les Entreprise de Réseaux

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Economique

ISB : Intégration Simplifiée au Bâti

MO : Main d'Oeuvre

MOA : Maitre d'Ouvrage

MPPT : Maximum Power Point Tracking (Suivi du point maximal de puissance)

OA : Obligation d'Achat

PC : Permis de Construire

PDL : Point de Livraison

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Energie

PV : Photovoltaïque

PTF : Proposition Technique et Tarifaire

RPDE : Réseau Public d'Electricité

SDIS : Service Départementale d'Incendie et de Secours

SP : Sapeur Pompier

S3REnR : Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelable

TRC : Tous Risque Chantier (assurance)

TURPE : Tarif d'Utilisation des Réseaux Publics d'Electricité

UE : Union Européenne

UTE : Union Technique de l'Electricité (normes)

VT : Vente Totale

Wc, kWc, Wh, kWh : Watt-crête, kilo Watt-crête, Watt-heure, kilo Watt-heure

Ce guide a été rédigé par l'équipe régionale des conseillers énergie **des Chambres d'agriculture de la région Auvergne-Rhône Alpes**

- Enzo Casnici (Chambre d'agriculture 69) : rédacteur principal
- Marion Delobea (Chambre d'agriculture 63) : rédactrice principale
- Florent Gagne (Chambre d'agriculture 43) : contributeur
- Jean Paul Sauzet (Chambre d'agriculture 38) : contributeur
- Chloé Mamet (Chambre régionale d'agriculture Auvergne-Rhône-Alpes) : mise en forme et relecture

Il a aussi bénéficié de la relecture d'autres conseillers spécialisés des Chambres d'agriculture que nous souhaitons vivement remercier.

Annuaire des Chambres d'agricultures

En cas de questions ou de doutes persistants, les conseillers énergies des Chambres départementales d'agriculture de la région AURA sont à votre disposition pour vous éclairer

L'accompagnement des Chambres départementales d'agriculture d'Auvergne-Rhône-Alpes :

Certaines Chambres départementales d'agriculture de la Région AURA s'engagent en faveur de la transition énergétique et mettent à votre disposition des conseillers spécialisés en énergies renouvelables. Ils seront en mesure de répondre à une grande diversité de questions et pourront, le cas échéant vous orienter vers des prestations – formations – réunions d'informations...

Pour plus d'information, veuillez contacter le conseiller énergie de votre département

Données septembre 2023



Vous êtes agriculteur·trice dans une autre région de France ?
Contactez votre Chambre d'agriculture départementale qui saura vous orienter vers un conseiller énergie mieux informé sur les tendances locales de la filière PV.

