

**CHAMBRES
D'AGRICULTURE**
CENTRE-VAL DE LOIRE



GUIDE RÉGIONAL

L'AUTOCONSOMMATION SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

VERSION SEPTEMBRE 2023

S'INFORMER
COMPRENDRE
PRÉPARER SON PROJET

CONTEXTE



L'électricité produite par le solaire photovoltaïque s'inscrit dans le mix énergétique de notre pays. Fin 2022, l'ensemble des énergies renouvelables (solaire, éolien, biogaz, géothermie, hydraulique ...) couvraient 24% de notre consommation finale brute d'énergie dont seulement 4% pour le solaire photovoltaïque.

A ce jour, l'autoconsommation solaire, autrement dit le fait de **consommer l'électricité produite avec ses propres panneaux solaires**, ne représente qu'une faible part du développement du photovoltaïque.

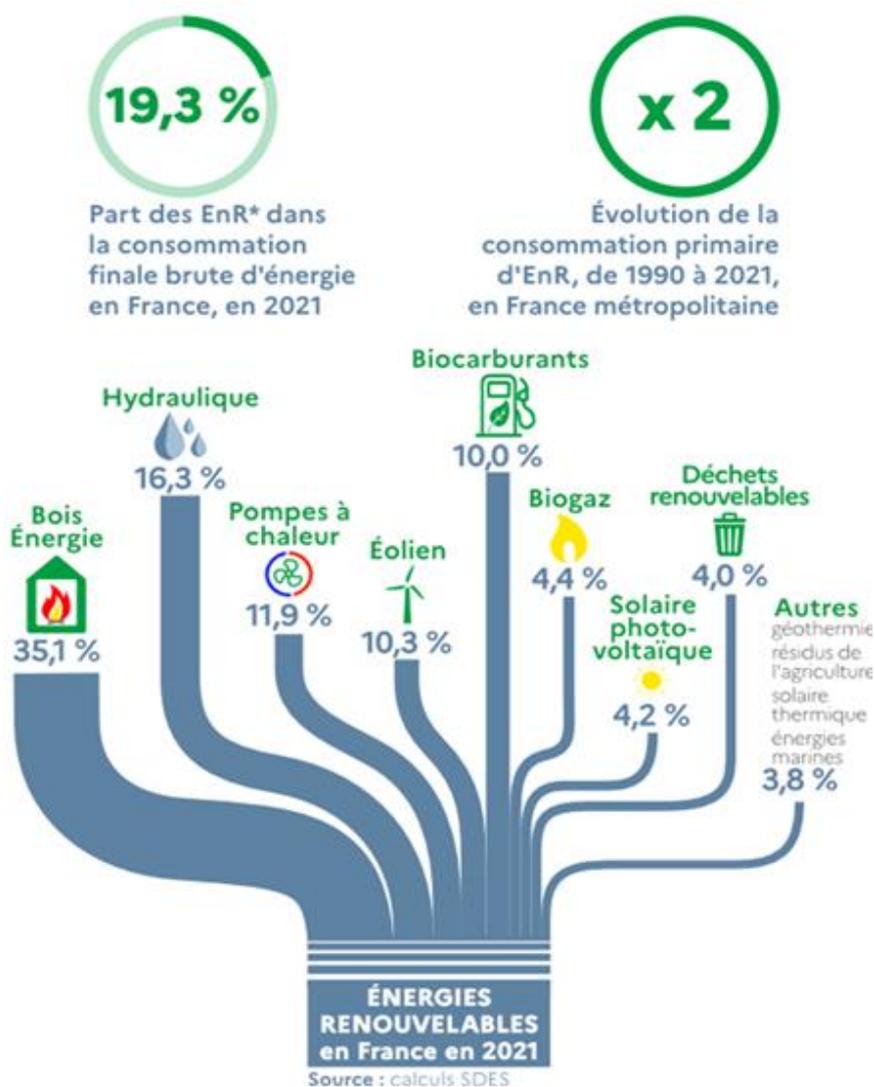
Seulement 7% de la puissance raccordée (soit 1.1 GW sur 16) y est dédiée contre 93% pour l'injection totale (vente d'électricité sans autoconsommation de la production).

36% des producteurs autoconsomment une partie de leur production, essentiellement sur des sites résidentiels de petite puissance. Cela ne représente que 3% de la totalité des kWh solaire produit à l'échelle nationale.

Mais, la progression est désormais forte : 50% de puissance dédiée raccordée en plus en 2021 et 2022, +77% au premier semestre 2023.

De plus, le cadre réglementaire évolue favorablement, le dispositif de soutien de l'Etat (guichet ouvert) offre depuis 2021 plus d'opportunité et de nouveaux modèles d'affaire font leur apparition. Neuf nouveaux producteurs sur 10 (centrale <3kWc) autoconsomment désormais une partie de leur production.

Selon RTE, le gisement solaire en autoconsommation serait estimé à 40 GW à l'horizon 2035 (source : schéma décennal de développement du réseau – 2019)



Les énergies renouvelables en France ont produit 339 TWh en 2021 (source : SDES)

OBJECTIF



Ce guide a pour objectif de mieux vous faire comprendre le principe de l'autoconsommation solaire photovoltaïque et de vous en présenter les différentes formes.

Il vous apportera des éléments de réflexion technico économiques pour mieux appréhender un éventuel projet sur votre exploitation.

Il s'adresse aux cibles prioritaires de l'autoconsommation solaire à savoir les gros consommateurs d'électricité, ceux ayant une consommation régulière ou une forte consommation estivale :

- Les éleveurs (laitier, porcine, avicole, ...)
- Les méthaniseurs
- Les exploitants équipés de groupes froids
- Les irrigants

C'est un outil d'aide à la décision dans lequel vous sont présentés :

- ▶ 15 fiches informatives afin de répondre à vos interrogations.
- ▶ Des annexes pour vous apporter des informations complémentaires et vous présenter des cas types.

LES REDACTEURS

Ce guide a été rédigé par les conseillers énergies des Chambres d'agriculture de la région Centre-Val de Loire (cf. tableau ci-dessous), avec l'appui de Maryse MÉRIEAU, chargée de mission régionale, qui a élaboré la mise en page graphique de ce document.

	Eure-et-Loir Alexandra JOFFRIN 02 37 24 46 26 a.joffrin@eure-et-loir.chambagri.fr		Loir-et-Cher Christophe BEAUJOUAN 02 54 55 74 74 christophe.beaujouan@loir-et-cher.chambagri.fr		Loiret Sylvain DESEAU 06 86 40 98 16 sylvain.deseau@loiret.chambagri.fr
	Indre-et-Loire Leah SARGNON 02 47 48 37 25 / 07 76 84 02 52 leah.sargnon@cda37.fr		Loir-et-Cher Romain NANDILLON 02 54 55 74 55 / 07 62 01 02 13 romain.nandillon@loir-et-cher.chambagri.fr		Centre-Val de Loire Maryse MÉRIEAU 06 86 40 98 16 maryse.merieau@centre.chambagri.fr

FICHES INFORMATIVES

1. [Pourquoi s'intéresser à l'autoconsommation photovoltaïque en agriculture ?](#)
 2. [1^{ère} étape : Décrypter sa facture d'électricité](#)
 3. [2^{nde} étape : Définir et analyser son profil de consommateur](#)
 4. [Les différents principes d'autoconsommation solaire photovoltaïque](#)
 5. [L'autoconsommation partielle avec vente de surplus](#)
 6. [Stockage physique et virtuel](#)
 7. [L'autoconsommation collective](#)
 8. [Le raccordement au réseau](#)
 9. [Faire de l'autoconsommation avec une centrale sur toiture](#)
 10. [Faire de l'autoconsommation avec une centrale au sol](#)
 11. [Quelle orientation et inclinaison des panneaux en autoconsommation au sol ?](#)
 12. [Le cas spécifique des Trackers solaires](#)
 13. [Les kits autoconsommation « grand public »](#)
 14. [Comment dimensionner la centrale solaire pour de l'autoconsommation ?](#)
 15. [Quelle rentabilité de l'autoconsommation solaire ?](#)
 16. [Les subventions pour l'autoconsommation](#)
- [ANNEXE 1 : Cas-type IRRIGATION](#)



En savoir plus sur :

<https://centre-valde Loire.chambres-agriculture.fr/produire-innover/energies/>



[RETOUR AU SOMMAIRE](#)



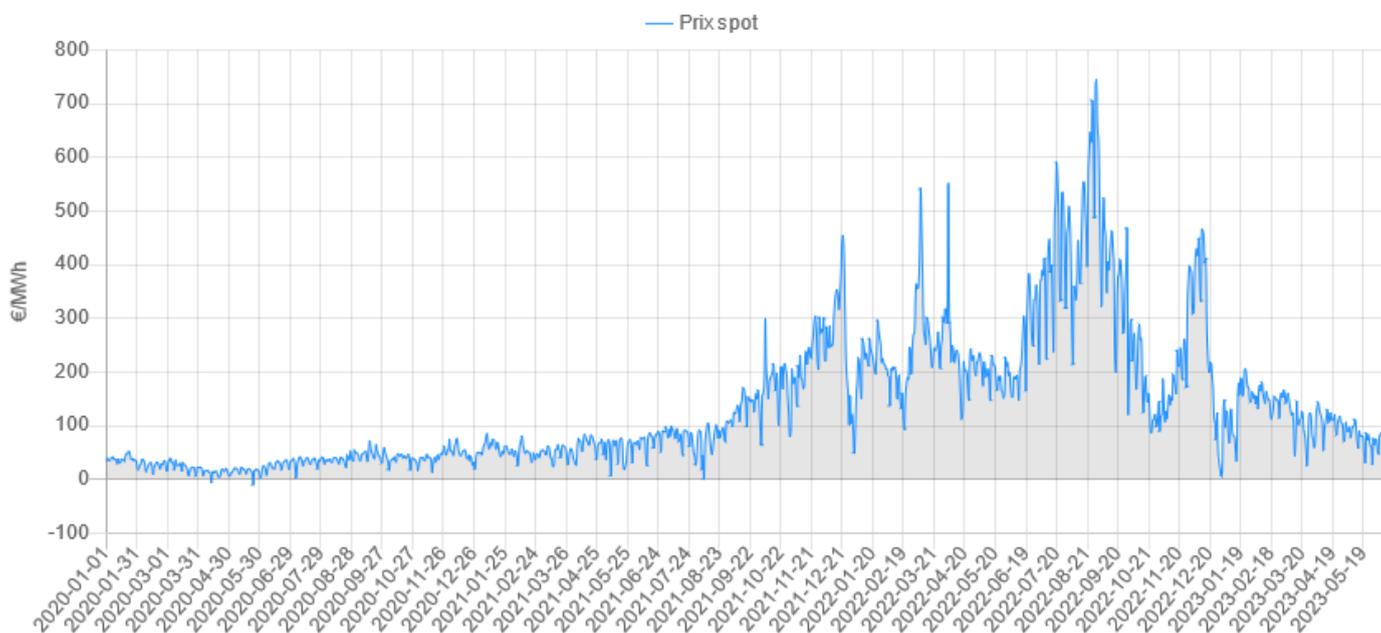
Dans un contexte énergétique tendu, l'autoconsommation solaire fait l'objet d'un intérêt croissant dans le domaine agricole. Réduire le montant de la facture d'électricité, voir devenir complètement autonome, voilà ce que l'on peut attendre des panneaux installés sur nos exploitations.

LE PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ AUGMENTE

Outre un éventuel intérêt pour la production d'énergie verte et/ou les circuits courts, l'atout majeur de l'autoconsommation solaire est de faire baisser le montant de sa facture d'électricité.

Depuis les 15 dernières années, le prix du kWh acheté sur le réseau a augmenté de 2 à 3% en moyenne par an soit environ + 50% entre 2007 et 2020. Une hausse liée à l'évolution des taxes, du coût du transport de l'électricité et de l'impact des Certificats d'économie d'énergie (CEE). **En 2022, il a littéralement explosé passant de 50 à 500 €/MWh sur le marché de gros, avec des pointes à plus de 700 €.**

Evolution du prix SPOT de l'électricité



Evolution du prix SPOT de l'électricité de 2020 à 2023 – Source Sélectra

Il devrait redescendre mais ne reviendra pas au niveau d'avant. Selon certains, il devrait se stabiliser aux environs de 200-300 €/MWh pour s'aligner sur les prix de nos voisins européens.

Pour vos simulations, envisagez une augmentation d'environ 7% par an du prix de votre kWh actuel.



LE PRIX DE REVIENT DU KWH SOLAIRE BAISSÉ

Produire de l'électricité photovoltaïque coûte de moins en moins cher.

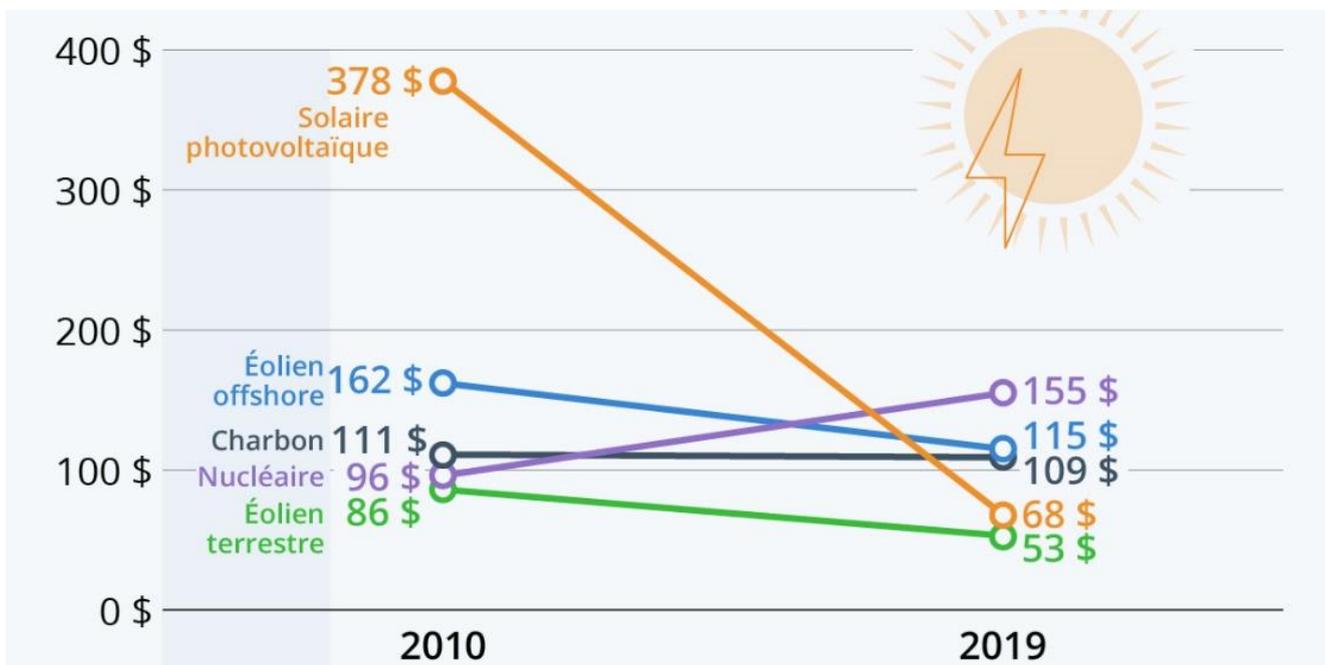
En dix ans de temps, le prix d'achat et de pose d'une centrale photovoltaïque est passé de 5 €HT/Wc à 0,8 € HT. D'où la baisse du prix de revient du kWh solaire produit tel que l'atteste l'évolution du prix moyen d'achat d'électricité proposé par les porteurs de projet dans le cadre des appels d'offre de l'Etat.

Evolution des prix moyens d'appel d'offre CRE sur bâtiment 100-250 kWc

(source Photovoltaïque.info)

2011	2016	2019
20-22 c€/kWh	13c€/kWh	9 c€/kWh

Aujourd'hui, le solaire photovoltaïque est devenu la forme de production d'énergie électrique la plus compétitive avec l'éolien et l'hydroélectricité, devant le nucléaire.



Prix d'un mégawattheure d'électricité, selon la source d'énergie (moyenne mondiale pondérée du coût actualisé de l'électricité (LCOE) hors subvention – Source : Our World in Data

ATOUTS	CONTRAINTES
<p>Prix de revient du kWh très compétitif et garanti sur la durée de vie des panneaux soit 30 à 40 ans.</p> <p>Pas de temps à consacrer à la production</p>	<p>Le solaire est une énergie intermittente : les panneaux ne produisent pas la nuit et plus l'été que l'hiver.</p> <p>L'énergie électrique est difficile à stocker</p>



L'objectif de cette 1^{ère} étape est de calculer le prix du "kWh réseau économisé" car potentiellement non consommé grâce à la centrale photovoltaïque.

Une facture d'électricité contient beaucoup d'informations. Outre les éléments d'identification du consommateur et de son compteur, la page récapitulant **les postes de charges** est celle qui nous intéresse dans le cas présent (cf. illustration ci-contre). Certaines de ces charges sont **fixes**. D'autres dépendent du nombre de kWh consommés (charges **variables**).

Total EDF Electricite					1 122,25 € HT
Abonnement électricité (HT)					
Abonnement	Période		Prix unitaire HT	56,67 €	Taux de TVA
	du 01/04/2019 au 30/04/2019		56,67 €/mois	56,67 €	20,00 %
Consommation (HT)					
	Période	Conso 15 010 kWh	Prix unitaire HT	1 065,58 €	Taux de TVA
Electricité Heures Pleines Hiver	du 01/03/2019 au 31/03/2019	9 263 kWh	8,193 c€/kWh	758,92 €	20,00 %
Electricité Heures Creuses Hiver	du 01/03/2019 au 31/03/2019	5 747 kWh	5,336 c€/kWh	306,66 €	20,00 %
Utilisation du réseau de distribution et prestations techniques (Identique pour l'ensemble des fournisseurs)					469,19 € HT
		Quantité	Prix unitaire HT		Taux de TVA
Composante de gestion - Reprise	du 01/03/2019 au 30/03/2019	31,000 c.j	97,41 c€/c.j	-29,22 €	20,00 %
Composante de gestion - Echu	du 01/03/2019 au 31/03/2019	31,000 c.j	97,41 c€/c.j	30,20 €	20,00 %
Composante de gestion - Echoir	du 01/04/2019 au 30/04/2019	30,000 c.j	97,41 c€/c.j	29,22 €	20,00 %
Composante de comptage - Reprise	du 01/03/2019 au 30/03/2019			-43,84 €	20,00 %
Composante de comptage - Echu	du 01/03/2019 au 31/03/2019	31,000 p.j	146,14 c€/p.j	45,30 €	20,00 %
Composante de comptage - Echoir	du 01/04/2019 au 30/04/2019	30,000 p.j	146,14 c€/p.j	43,84 €	20,00 %
Composante de soutirage fixe - Reprise	du 01/03/2019 au 30/03/2019	PS pondérée : 79 kW		-102,11 €	20,00 %
Composante de soutirage fixe - Echu	du 01/03/2019 au 31/03/2019	2453,340 kW	4,30 c€/kW	105,52 €	20,00 %
Composante de soutirage fixe - Echoir	du 01/04/2019 au 30/04/2019	2374,200 kW	4,30 c€/kW	102,11 €	20,00 %
Composante de soutirage Heures Pleines Hiver	du 01/03/2019 au 31/03/2019	9263,000 kWh	2,06 c€/kWh	190,82 €	20,00 %
Composante de soutirage Heures Creuses Hiver	du 01/03/2019 au 31/03/2019	5747,000 kWh	1,28 c€/kWh	73,56 €	20,00 %
Tangente Phi : 0.536	du 01/03/2019 au 31/03/2019				
Composante réactive facturée	du 01/03/2019 au 31/03/2019	1259 kVAh	1,89 c€/kVAh	23,79 €	20,00 %
Eléments de calcul, pour information	9263 kWh (6h-22h)	4964kVAh (6h-22h)	3705 kVAh en franchise		
Services					0,00 € HT
Services (Espace client, Bilan annuel)					INCLUS
Taxes et contributions (identiques pour l'ensemble des fournisseurs)					434,53 € Hors TVA
	Période	Assiette	Prix unitaire HorsTVA		Taux de TVA
Contribution au Service Public de l'Electricité	du 01/03/2019 au 31/03/2019	15 010 kWh	2,250 c€/kWh	337,73 €	20,00 %
Taxe Départementale sur le Conso Finale Electricité	du 01/03/2019 au 31/03/2019	15 010 kWh	0,10825 c€/kWh	15,95 €	20,00 %
Taxe Communale sur la Conso Finale Electricité	du 01/03/2019 au 31/03/2019	15 010 kWh	0,21250 c€/kWh	31,90 €	20,00 %
Contribution Tarifaire d'Acheminement		181,02	27,04 %	48,95 €	20,00 %

❶ Abonnement : charge fixe

❷ Consommation : charge variable qui peut être déclinée selon les contrats en : Heures pleines hiver (HPH), Heures creuses hiver (HCH), Heures pleines d'été (HPE), Heures creuses d'été (HCE), Heures 1/2 saison

❸ Frais d'acheminement ou TURPE (tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité). Leur présentation et leur montant varie en fonction de la puissance souscrite de votre contrat. Trois composantes :

Composante de soutirage :

- part fixe proportionnelle à l'option et à la puissance souscrite pondérée.
- part variable : part proportionnelle à l'énergie consommée par période horosaisonnaire. Les éventuels dépassements de puissance souscrite ou les prestations réalisées par le gestionnaire du réseau seront facturés dans cette rubrique.

Composante de gestion : coûts de gestion du gestionnaire de réseau pour le nombre de jours de la période.

Composante de comptage : frais de contrôle du compteur électrique, son relevé, sa location et son entretien pour le nombre de jours de la période.

❹ Taxes collectées par le fournisseur d'énergie pour le compte de l'Etat et des collectivités : CSPE, CTA et TVA.CSPE (Contribution au Service Public d'Electricité) aussi appelé TICFE (Taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité). Cette taxe intègre, depuis le 1er février 2023, les taxes communale (TCCFE) et départementale (TDCFE) sur la consommation d'électricité. Elle porte le nom désormais d'accise.

Prenons ci-dessous l'exemple des éléments de la facture d'un agriculteur irrigant en tarif jaune (Juillet 2022) :

CHARGE		NATURE	ELEMENTS TARIFAIRES		
			QUANTITE	PRIX UNITAIRE	TOTAL
ABONNEMENT		Fixe	-	-	25 € HT
CONSOMMATION	- Heures pleines hiver (HPH) - Heures creuses hiver (HCH)	Variable	4735 kWh	(4,9 c€/kWh)	233 € HT
	- Heures pleines d'été (HPE) - Heures creuses d'été (HCE) - Heures 1/2 saison		3041 kWh	(4,1 c€/kWh)	125 € HT
FRAIS D'ACHEMINEMENT (TURPE) (*)	Composante de soutirage ¹	Part fixe			60 € HT
	Composante de gestion ²	Part variable			163 € HT
	Composante de comptage ³	Fixe			16 € HT
TAXES (**)	TICFE/CSPE (***)	Fixe			20 € HT
	CTA	Variable			21 € HT
	TVA	Fixe			21 € HT
		Variable			20%

Le prix du "kWh économisé" se calcule en additionnant le prix du kWh avec les charges variables. Soit pour l'exemple ci-dessus :

VALEURS EN CENTIMES D'EUROS	HEURE PLEINE ETE	HEURE CREUSE ETE
Prix du kWh économisé HT	7,3 c d'€ HT*	6,5 c d'€ HT
Prix du kWh seul (fourniture)	4,9 c d'€ HT	4,1 c d'€ HT
Prix du kWh toutes charges comprises	9,0 c d'€ HT	8,3 c d'€ HT

$$*4,9 + ((163+21)/(4735+3041)) = 7,3$$

Le solaire photovoltaïque étant un mode de production d'énergie intermittent, seuls les kWh de jour sont substitués. Il est donc judicieux de ne retenir que le prix du kWh économisé en heures pleines soit, pour notre exemple, 7.3 centimes d'euros.

Exemple pour le tarif règlementé/tarif bleu (< 36 kVA) :

Référence mai 2023

VALEURS EN CENTIMES D'EUROS	HEURE PLEINE	HEURE CREUSE
Prix du kWh économisé HT	21,41 c d'€ HT	17,3 c d'€ HT
Prix du kWh seul (fourniture)	17,91 c d'€ HT	14,23 c d'€ HT



L'objectif de cette 2^{de} étape est d'analyser la répartition de votre consommation d'électricité : par mois, jour/nuit, aux différentes heures de la journée.

Cette démarche permet :

- d'identifier des anomalies ou incohérences de consommation
- d'envisager d'éventuelles pistes d'économie d'énergie
- d'identifier les consommations de nuit qui pourraient être basculées en journée
- au final, de dimensionner la puissance de la centrale solaire en autoconsommation.

Pour obtenir vos données de consommation, votre installation électrique doit être équipée d'un compteur dit communicant (*) :

- Contrat <36kVA : compteur Linky. Relevé d'information toutes les 10 minutes
- Contrat > 36 kVA : Compteur PME/PMI. Relevé toutes les 30 minutes.

Elles sont accessibles

- Soit via votre fournisseur d'énergie. Attention, souvent fourni avec un pas de temps mensuel, leurs relevés ne sont pas suffisamment précis pour étudier un projet d'autoconsommation.
- Soit via votre gestionnaire de réseau (ENEDIS ou régie locale de distribution). Rendez-vous sur leur site internet, créez vous un compte et activez l'enregistrement de vos données.

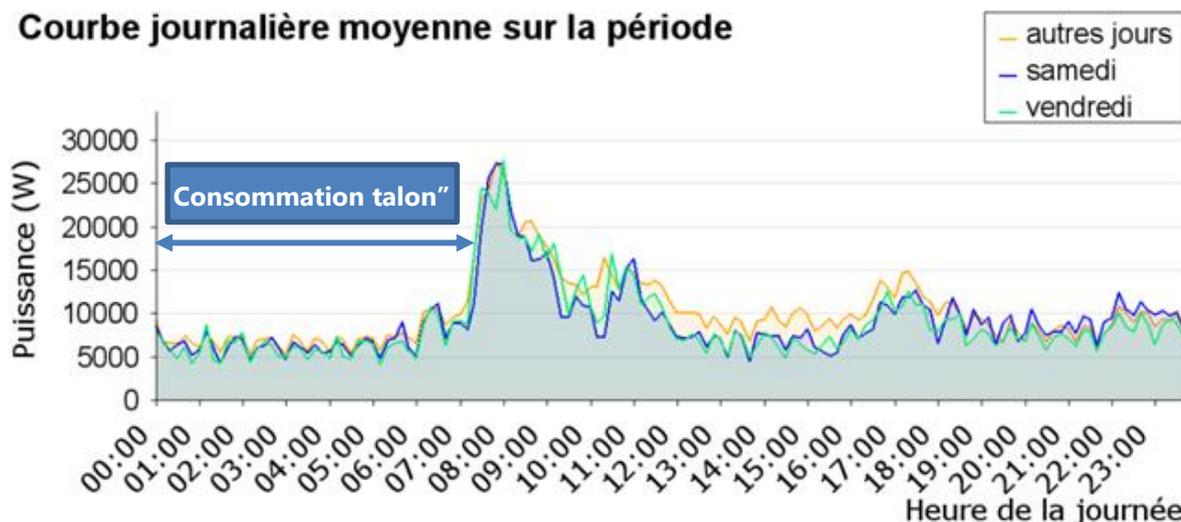
QUEL RESULTAT OBTENU ?

Vos données de consommation vous sont transmises sous la forme de tableur Excel.

Les relevés au pas de temps 10 min ou 30 min génèrent beaucoup de données. Pour les besoins de l'étude autoconsommation, il est judicieux de les agréger au pas de temps d'une heure.

Les installateurs formés à ce type d'étude sont équipés de logiciel automatisant ce travail. A l'issue, ils pourront vous éditer plusieurs courbes de consommations journalières (en fonction des mois de l'année) appelées aussi courbes de charge.

Courbe journalière moyenne sur la période



La consommation dite "talon" d'une installation correspond à ce qui est consommé de façon régulière sur le site lorsqu'il n'y a pas d'activité particulière, même lorsque le site est inoccupé.

A savoir

A défaut de pouvoir collecter des données de consommation détaillées, certains installateurs ou bureaux d'études disposent de profils de consommation types, par catégorie de consommateurs (particulier, éleveur, éleveurs laitiers sans robot, éleveur laitier avec robot, ...). Ils peuvent ainsi simuler vos consommations journalières à partir des données mensuelles transmises par les fournisseurs d'énergie.

DES A PRESENT, PENSEZ A ACTIVER LA FONCTION D'ENREGISTREMENT DE VOTRE COMPTEUR EN VOUS RENDANT SUR LE SITE DE VOTRE GESTIONNAIRE DE RESEAU. LA DEMARCHE EST GRATUITE.

(*) Si vous n'avez pas de compteur communicant, vous pouvez faire installer, par un professionnel, un système d'enregistrement sur votre réseau électrique. Vous disposerez alors d'un système de suivi via application smartphone ou par ordinateur.

Faites la différence entre kW, kWh et kVA

- **kW** : c'est une valeur de puissance dite "active" qui correspond au besoin en énergie du ou des appareils électrique en fonctionnement sur votre circuit à un instant "t".
- **kWh** : c'est une valeur de consommation. Une puissance de 1 kW sollicitée pendant 1 heure correspond à une consommation de 1 kWh.
- **kWc** : C'est une unité de mesure spécifique aux panneaux solaires. Elle traduit la puissance maximale d'un panneau dans des conditions normalisées de mesure (intensité lumineuse, température, ...), une valeur qu'il atteint rarement du fait du décalage entre ces conditions normalisées et les conditions réelle de production (notamment en termes de température). Dans de très rares cas, il peut la dépasser légèrement (tolérance de puissance). Le ratio kWc/m² permet de comparer la performance des panneaux entre eux.
- **kVA** : C'est l'unité de la puissance dite "apparente". Elle correspond à la puissance mesurée à la sortie de l'onduleur, celle qui peut passer dans votre compteur électrique. Elle peut être bridée par réglage en fonction de la stratégie de votre installateur solaire.



Il est courant de distinguer deux grands principes d'autoconsommation solaire photovoltaïque :

- **L'autoconsommation individuelle (ACI)** = Un producteur – un consommateur – un seul compteur
Elle peut se décliner sous différentes formes
 - L'autoconsommation totale (cf § 1)
 - L'autoconsommation partielle (cf § 2)
 - L'autoconsommation avec stockage (cf § 3)
- **L'autoconsommation collective (ACC)** = plusieurs producteurs- plusieurs consommateurs – au moins deux compteurs (cf § 4)

De nouveaux modèles comme **l'autoconsommation en tiers investisseur** voient le jour (cf § 5).

ATTENTION : AUTOCONSOMMATION NE VEUT PAS DIRE AUTONOMIE

En l'absence de système de stockage, les panneaux solaires ne peuvent techniquement pas répondre à une logique d'autonomie. Même s'ils sont correctement dimensionnés en terme de puissance par rapport au besoin de vos appareils électriques, leur production reste soumise aux effets de la météo. Si un nuage passe, tout s'arrête. Il ne peut en aucun cas rendre un service similaire à celui d'un groupe électrogène.

De plus, lorsque l'installation est couplée au réseau électrique, la réglementation impose que les onduleurs soit munis d'une fonction de découplage automatique, quelle que soit leur puissance. En cas de coupure de courant (panne ou intervention d'un agent sur le réseau), la production solaire de votre installation sera stoppée. Seuls les onduleurs destinés à être installés sur les centrales autonomes (avec batterie) ne sont pas pourvus de cette fonction de découplage.

❶ L'AUTOCONSOMMATION TOTALE :

C'est le mode d'autoconsommation le plus simple.

Principe : Le producteur s'engage à ne pas injecter de kWh photovoltaïque sur le réseau. Les onduleurs sont bridés pour empêcher l'injection de surplus. L'installation est dépourvue de système de stockage.

Afin de limiter le nombre de kWh photovoltaïques gaspillés, la puissance de l'installation solaire est bien souvent calée sur la base de la consommation talon du site. Si vous avez des pics de consommation, les économies réalisées sur la facture d'électricité seront donc limitées.

Très répandu chez les particuliers avec des petites puissances, ce mode d'autoconsommation est aussi celui des trackers utilisés dans le domaine agricole (cf [fiche 12](#)).

ATOUTS	CONTRAINTES
Démarches administratives limitées. Pas de frais de raccordement	Implique de limiter la puissance de la centrale solaire pour ne pas générer de surplus

② L'AUTOCONSOMMATION PARTIELLE :

Principe : Le producteur consomme l'énergie dont il a besoin instantanément. Le surplus est injecté sur le réseau avec ou sans contre-partie financière.

SANS VALORISATION FINANCIERE DU SURPLUS

Bien qu'ENEDIS ne communique pas trop sur ce cas de figure, le bridage des onduleurs cité précédemment dans le cadre de l'autoconsommation totale, n'est pas obligatoire pour les centrales solaires inférieures à 3 kWc. Le surplus peut donc être injecté sur le réseau mais, attention, il le sera sans contrepartie financière. Ce cas de figure se limite aux installations de particuliers.

AVEC VENTE DU SURPLUS

C'est le cas le plus fréquent. Le surplus injecté sur le réseau est valorisé financièrement. Deux cas de figure :

- Soit les kWh sont achetés via les contrats d'obligation d'achat de l'Etat (Guichet ouvert)
- Soit ils sont achetés par un fournisseur d'énergie

En revente de surplus, la stratégie de dimensionnement de la centrale solaire va dépendre du tarif auquel les kWh sont valorisés. Moins il est élevé, moins il faut générer de surplus donc moins la centrale est puissante.

ATOUTS	CONTRAINTES
Solution idéale si le surplus est correctement valorisé	Comme n'importe quel mode d'autoconsommation individuelle, le point de consommation doit se situer à proximité immédiate de la centrale de production



Plus d'informations dans la fiche 5

③ L'AUTOCONSOMMATION AVEC STOCKAGE :

Les systèmes de stockages permettent de mieux valoriser le surplus de kWh généré par la centrale solaire et d'utiliser la nuit, ce qui a été produit le jour.

Avec des batteries classiques (stockage physique), l'installation peut s'envisager de deux façons :

- En l'absence de réseau. Le surplus est stocké dans la limite de la capacité de la batterie. L'objectif est l'autonomie complète. C'est le cas particulier des sites isolés
- En étant raccordé au réseau. Une fois la batterie pleine, le surplus est injecté sur le réseau (stockage partiel). Cela permet de mieux valoriser le surplus et d'augmenter le taux d'autoconsommation de l'installation. Le stockage de la batterie permet d'utiliser l'énergie quand la production est nulle (la nuit, quand un nuage passe...). Un dispositif de pilotage en gère la charge, la décharge et permet une alimentation régulière des appareils électriques.

Pour pallier les contraintes des batteries physiques, une alternative « virtuelle » est aujourd'hui proposée par certains prestataires.

ATOUTS	CONTRAINTES
Permet de tendre vers l'autonomie. Meilleure valorisation du surplus.	Stockage batterie : rentabilité à démontrer. Stockage virtuel : attention aux petites lignes du contrat



Plus d'informations dans la fiche 6

4 L'AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE :

L'autoconsommation collective est un nouveau modèle d'affaire, encadré réglementairement, qui permet de vendre une partie de sa production à des consommateurs situés à proximité géographique.

Principe : Un ou plusieurs producteurs solaires vendent leur électricité à un ou plusieurs consommateurs. Les kWh transitent par le réseau. Ces producteurs deviennent de fait des "fournisseurs d'énergie", sans avoir à respecter les obligations réglementaires y afférant.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Vente directe d'électricité sans intermédiaire	Projet plus complexe à mettre en œuvre que l'ACI.



Plus d'informations dans la fiche 7

5 L'AUTOCONSOMMATION EN TIERS INVESTISSEURS :

C'est un modèle d'affaire peu répandu pour l'instant qui s'adresse prioritairement aux gros consommateurs d'électricité.

Principe : Vous mettez une surface (parcelle, toiture) à disposition d'un tiers investisseur via un bail à longue durée (type emphytéotique ou bail à construction). Sur cette surface, l'investisseur construit une centrale solaire. Il en assure l'exploitation. Vous passez un contrat avec cet investisseur pour qu'il vous vende l'électricité produite sur place :

- Vous définissez le volume dont vous avez besoin
- Vous négociez le tarif de ces kWh autoconsommés.
- Vous complétez votre fourniture d'énergie auprès d'un fournisseur classique.
- L'investisseur gère le surplus généré par la centrale.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>Votre capacité d'investissement n'est pas bloquée dans l'achat de la centrale solaire.</p> <p>Le tarif du kWh solaire est figé sur plusieurs années (durée du contrat). Attention toutefois aux critères d'indexation annuelle de ce tarif.</p>	<p>Réservé aux gros consommateurs d'électricité.</p> <p>Modèle complexe à mettre en œuvre juridiquement</p>



Cas n°1 : Les kWh en surplus sont achetés dans le cadre de l'obligation d'achat par EDF OA, les Entreprise locale de distribution (SICAP dans le Loiret, Synelva en Eure et Loir) ou un autre acheteur agréé.

Pour les centrales ≤ 500 kWc installées sur bâtiment

Le tarif d'achat du guichet ouvert est fixé par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) avec les règles de l'arrêté tarifaire en vigueur (S21 – octobre 2021).

- **Installations éligibles :**
 - Centrales sur bâtiment, hangar, ombrière pour le stockage de matériel et ombrières flottantes.
 - Installations construites depuis la publication de l'arrêté S21 et n'ayant pas déjà fait l'objet d'un contrat commercial pour la vente d'électricité.
- **Durée du contrat :** 20 ans
- **Tarifs :** L'aide de l'Etat se décompose entre une prime à l'investissement et un tarif d'achat des kWh en surplus.

Tarif en vigueur du 1 ^{er} mai au 31 juillet 2023	Puissance (kWc)				
	≤ 3	≤ 9	≤ 36	≤ 100	≤ 500
Tarif (c€/kWh)	13.39	13.39	8.03	8.03	13.12
Prime investissement (€/kWc)	510	380	210	110	0

A SAVOIR :

- Depuis février 2023, primes et tarifs sont révisés tous les trimestres (avant, seule la prime l'était).
- Les tarifs sont révisés à chaque date anniversaire du contrat (indexation sur l'inflation).
- La prime à l'investissement (pour les centrales ≤ 100 kWc) est versée :
 - En 1 fois pour les centrales ≤ 9 kWc
 - En 5 fois pour les centrales >9 kWc (80% la première année puis 5%/an les années suivantes)
- Le fruit de la vente du surplus est facturé une seule fois par an à EDF.
- La vente de surplus peut se cumuler avec l'autoconsommation collective. Par contre, si sur un même site et sur un même compteur, vous avez déjà une installation en autoconsommation totale (sur un autre bâtiment, avec un tracker ou au sol), vous ne pourrez pas obtenir un contrat de vente de surplus.
- L'arrêté tarifaire S21 permet de modifier deux fois (avec un intervalle maximum de deux ans entre deux modifications) la nature d'exploitation de la centrale et ainsi passer d'un contrat de vente totale à un contrat de vente de surplus ou inversement. Si le changement se fait dans le sens vente en totalité vers vente de surplus, le producteur ne perçoit pas la prime. Dans le sens vente de surplus vers vente en totalité, le producteur doit rembourser tout ou partie de la prime à l'investissement.

ATOUTS

Contrat signé pour 20 ans.
Le tarif d'achat pour la tranche 100-500 est très intéressant. Il est identique à celui de la vente totale.

CONTRAINTES

Pour les centrales < 100 kWc, le tarif d'achat des kWh en surplus est peu séduisant mais compensé en partie par la prime investissement.

Pour les centrales > 500 kWc sur bâtiment et au sol

Ce n'est plus le dispositif du guichet ouvert qui s'applique mais celui des appels d'offre (*).

Ils s'adressent aux centrales dont au moins 50% de la production est autoconsommée. Compte tenu de la puissance minima imposée de la centrale, ces appels d'offre concernent peu le domaine agricole.

- Installations éligibles :

- Centrales sur bâtiments agricoles, hangars agricoles et piscicoles, serres, ombrières (dont flottantes)
- Centrales au sol à l'exclusion des projets sur parcelles agricoles (**)
- Puissances comprises entre 500 kWc et 10 MWc pour les projets en autoconsommation individuelle et collective au sein d'un même bâtiment
- Puissance comprise entre 500 kWc et 3 MWc en autoconsommation collective étendue (voir § autoconsommation collective) :

- Durée du contrat : 20 ans

- Tarifs : 14 périodes d'appel d'offre ont été programmées entre 2021 et 2026

(*). Contrairement au guichet ouvert, l'état n'octroie pas un tarif d'achat pour l'électricité en surplus mais un complément de rémunération sur la base d'un prix de référence proposé par le porteur de projet.

(**) Dans les espaces agricoles, cela ne concerne que :

Cas 1 : Les parcelles disposant d'une autorisation d'urbanisme et d'un avis favorable de la CDPENAF + terrain hors zone humide + le projet n'est pas soumis à autorisation de défrichement.

Cas 2 : Les parcelles classées Zn pour lesquelles le document d'urbanisme (PLU, PLUI, POS) permet un projet PV (exemple : mention N-pv, N-enr, Ne, N z) ou toute zone naturelle dont le document d'urbanisme autorise les installations solaires + le terrain est compatible avec l'exercice d'une activité agricole + terrain hors zone humide + le projet n'est pas soumis à autorisation de défrichement.

Cas 3 : les terrains dégradés (ex : anciennes carrières avec conditions particulières, site pollué, ...)

Cas n°2 : En signant un contrat commercial avec un fournisseur d'énergie alternatif.

Certains fournisseurs d'énergie proposent le rachat de surplus solaire.

Exemple de l'offre JPME (avril 2023) :

- o Puissance de la centrale limitée à 500 kWc
- o Contrat compatible avec les centrales au sol ou sur toiture
- o Ticket d'entrée :
 - 799 € TTC en dessous de 36 kVA
 - 1499 € entre 36 et 100 kVA
 - Sur devis au-delà de 100 kVA
- o Tarif : plusieurs types d'offres
 - Jusqu'à 36 kVA : Tarif indexé sur le Tarif réglementé d'électricité : environ 7 c€/kWh
 - > 36 kVA : Tarif indexé sur le prix Spot de l'électricité : environ 17 c€/kWh (janvier 2023)
- o Rachat de la totalité des kWh en surplus sans limite de volume, ni de temps
- o Paiement annuel
- o Contrat d'un an renouvelé par tacite reconduction
- o Vous n'êtes pas obligé de souscrire chez eux pour votre fourniture d'énergie.
- o JPME s'occupe de la démarche de raccordement
- o Attention, il ne peut y avoir qu'un seul responsable d'équilibre sur un point de soutirage.

ATOUTS CAS N°2

Alternative pour valoriser le surplus quand l'installation n'est pas éligible au contrat de l'Etat. Dans un contexte de crise, le tarif proposé peut être plus intéressant que celui de l'Etat.

CONTRAINTES CAS N°2

Attention à la fluctuation des tarifs indexés sur le prix "Spot" (marché) de l'électricité.



LE STOCKAGE PHYSIQUE

L'énergie électrique est un flux constant d'électrons qui se déplacent dans un conducteur. Vouloir la stocker en tant que telle est aussi irréaliste que de vouloir stocker le vent. Pour y arriver, il faut donc la convertir sous une autre forme : chimique (batteries), énergie potentielle (pression d'eau, air comprimé, hydrogène), énergie cinétique (volant d'inertie), chaleur...

Pour les centrales solaires, les batteries lithium-ion ou plomb (moins coûteuses) sont les plus utilisées. Leur principale défaut est l'absence d'inertie (1 à 2 jour de sécurité d'approvisionnement) qui ne permet d'utiliser l'hiver, l'excédent d'électricité produit l'été.

D'autres technologies sont en cours de développement :

- Les batteries à volant d'inertie : Elles seront à prix compétitif dans environ 10 ans.
- Les batterie à hydrogène.
- Les batteries au sodium-ion : alternative plus vertueuse des modèles au lithium

Les critères de choix d'une batterie sont (source In Sun We Trust) :

- Sa capacité : Elle s'exprime en Wh ou kWh = tension (V) x ampérage (Ah)
- Sa profondeur de décharge : Une batterie ne doit pas se décharger au-delà d'un certain seuil (exemple 30% pour les modèles Lithium), afin de mieux préserver leur durée de vie. Cela a pour effet de limiter leur réelle capacité.
- Sa durée de vie : nombre de cycles charge/décharge
- Son besoin en entretien
- Sa durée de garantie
- Son prix

Comment dimensionner une installation de stockage ?

Le calcul est complexe car il dépend de la configuration de votre installation photovoltaïque (connectée au réseau ou en site isolé, type de consommation...). Si les batteries sont sous-dimensionnées, le surplus produit par les panneaux solaires ne pourra pas être stocké en totalité. A l'inverse, une surestimation des batteries viendra augmenter le coût de l'investissement et les frais de fonctionnement, donc indirectement la rentabilité.

L'installation doit intégrer un onduleur hybride, capable de gérer l'injection de vos panneaux solaires sur le réseau et la batterie de manière intelligente et sécurisée. Ce type d'onduleur est plus cher qu'un onduleur classique.

Prix de revient d'un kWh stocké (exemple pour une centrale de 3 kWc)

	SANS BATTERIE	AVEC BATTERIE
INVESTISSEMENT	7 500 à 9 000 € TTC	15 000 à 20 000 € TTC
PRIX DE REVIENT DU KWH SOLAIRE (SUR 20 ANS)	0,15 à 0,20 € TTC	0,30 à 0,40 € TTC

Compte tenu de leur prix et de leur durée de vie, les batteries affectent négativement le prix de revient du kWh solaire restitué.

ATOUTS	CONTRAINTES
Solution cumulable avec un contrat de vente de surplus.	Rentabilité à démontrer. Absence d'inertie des technologies classiques.

LE STOCKAGE VIRTUEL (source In Sun We Trust)

Principe : L'autoconsommation avec stockage virtuel est à mi-chemin entre le stockage batterie et la vente de surplus. Les kWh en surplus sont injectés sur le réseau puis restitués au moment du besoin. Ce mode de stockage est dit virtuel car c'est le réseau électrique qui joue le rôle de batterie.

Ce service est proposé par certains fournisseurs d'énergie et facturé sous la forme d'abonnement :

- Soit forfait unique quel que soit le volume de kWh solaire stockés
- Soit forfait variable en fonction d'une capacité de "stockage" maximum.

Exemple de l'offre My Light système (janvier 2023) : Offre limitée à 36 kVA

- 100 kWh stocké : 15 € TTC/mois
- 300 kWh : 24 € TTC /mois
- 600 kWh : 30 € TTC/mois
- 900 kWh : 35 € TTC/mois
- 1 200 kWh : 40 € TTC/mois
- 1 800 kWh : 50 € TTC/mois

Si cette solution peut paraître idéale sur le papier, il est nécessaire de prêter une attention particulière aux petites lignes du contrat qui vous lie avec le prestataire. Voici les questions à se poser :

- La capacité de stockage proposée est-elle limitée ?
- Y-a-t-il un temps limité pour « vider » la batterie virtuelle ?
- Les frais de TURPE et taxe sur les kWh stockés sont-ils intégrés dans le coût de l'abonnement ?
- Le prestataire limite-t-il son offre à une puissance de soutirage ?
- Quel est le prix de revient du kWh stocké ?

ATOUTS	CONTRAINTES
<p>Avantage du stockage sans les contraintes d'une batterie (place occupée, entretien/durée de vie...).</p> <p>Le prix du kWh "stocké" suit le cours de l'électricité : si aujourd'hui, vous économisez un kWh à 13 centimes, demain, ce même kWh peut valoir 20 centimes.</p>	<p>Vous payez les frais d'acheminement (TURPE) et taxes sur les kWh restitués.</p> <p>Concept non cumulable avec un contrat de vente de surplus. Si votre capacité de stockage est limitée, les kWh en trop seront perdus financièrement.</p> <p>En souscrivant ce type de service, vous vous engagez à souscrire votre contrat de consommation chez ce même prestataire. Attention, leurs offres peuvent s'avérer moins avantageuses que celle de fournisseur habituel.</p> <p>Offre limitée en puissance</p>



RAPPEL DU PRINCIPE :

Un ou plusieurs producteurs solaires vendent leur électricité à un ou plusieurs consommateurs. Les kWh transitent par le réseau. Ces producteurs deviennent de fait des "fournisseurs d'énergie", sans avoir à respecter les obligations réglementaires y afférant.

La vente se fait en direct, sans intermédiaire, contrairement aux contrats de gré à gré (voir § autoconsommation en tiers investisseurs) qui nécessite de passer par un agrégateur. Ici, seule une convention est signée avec ENEDIS. L'Etat n'intervient pas dans le dispositif.

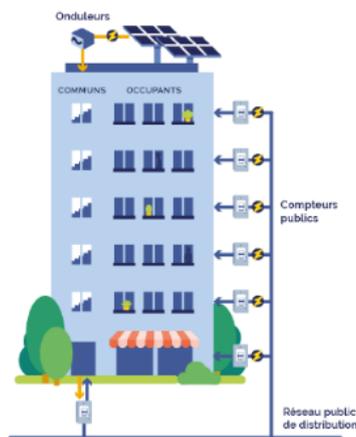
Producteurs et consommateurs doivent être proches :

CAS 1 : Périmètre simple. Dans un même bâtiment (immeubles collectifs),

CAS 2 : Périmètre étendu. Dans une zone géographique limitée :

- à 2 km maximum (distance entre les acteurs, producteurs ou consommateurs, les plus éloignés),
- à 10 km, par dérogation, pour les communes périurbaines,
- à 20 km, par dérogation, dans les communes à faible densité de population (liste disponible sur demande).

Simple



Tous les participants sont dans
un même bâtiment

Périmètre étendu



Tous les participants sont dans
une même zone géographique

Source : ENEDIS

Producteurs et consommateurs sont regroupés en **PMO** (personne morale organisatrice). N'importe quelle structure juridique dont les statuts sont compatibles, est éligible (SAS, association, coopérative, ...).

Producteurs et consommateurs doivent être équipés d'un **compteur communicant**.

Les producteurs **choisissent les clients** de leur choix.

Le tarif du kWh vendu par les producteurs est établi **librement**.

En autoconsommation collective, l'électricité produite doit être consommée dans un délai de 30 min. Cela nécessite de bien faire coïncider la production avec le besoin des consommateurs.

La puissance est limitée à 3 MW maximum.

Dans le domaine agricole, deux modèles de fonctionnement sont envisageables :

- **Modèle "patrimonial"** : Producteurs et consommateurs appartiennent à la même entité juridique. Il faut à minima 1 compteur de production et 1 compteur de consommation. Une seule personne suffit
- **Modèle "ouvert"** : Producteurs et consommateurs sont des entités différentes (agriculteurs, particuliers, entreprises, collectivités...)

Pour le/les producteurs soumis à l'arrêté tarifaire S21 du guichet ouvert de l'Etat, l'autoconsommation collective peut se combiner avec un contrat de vente de surplus ou de vente en totalité. Cela permet de s'affranchir de l'excédent de production non valorisé par les consommateurs.

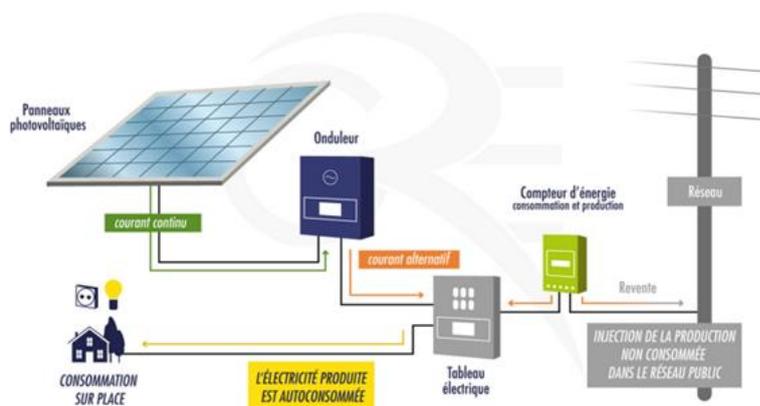
ATOUTS	CONTRAINTES
<p>Pas de nouvelle entité juridique à créer.</p> <p>Le mode patrimonial se conçoit sans tiers (idéal irrigant) ce qui permet de « délocaliser » l'autoconsommation individuelle.</p> <p>Cumulable avec un contrat de vente de surplus</p>	<p>Les kWh passant par le réseau sont soumis aux frais d'acheminement</p> <p>Rayon géographique limité.</p>



A l'image de l'eau, l'électricité suit le chemin le plus court. Alors que l'eau est guidée par la gravité, l'électricité se dirige là où la résistance est la moins importante”.

En autoconsommation solaire, la centrale est raccordée sur la ligne de soutirage de l'exploitation, contrairement à l'injection totale où une ligne dédiée est créée avec un compteur spécifique.

En générale, la puissance de la centrale est calée pour ne pas dépasser la puissance de soutirage.



Source image : Groupe ROY ENERGIE

VOTRE LIGNE DE SOUTIRAGE EST-ELLE CAPABLE DE SUPPORTER LA PUISSANCE D'INJECTION DE LA CENTRALE ?

Le circuit de soutirage comprend la ligne d'alimentation public (ENEDIS), la ligne privée entre le point de livraison (PDL) et le tableau électrique de l'exploitation (TGBT), le tableau électrique en tant que tel et le compteur.

La puissance maximale supportable par la ligne de soutirage (puissance de raccordement) est différente de la puissance souscrite affichée sur votre facture d'électricité. Vous pouvez avoir une puissance souscrite de 20 kVA mais un câble capable d'en supporter 36.

Les normes de calcul utilisées pour le dimensionnement d'une ligne pour soutirer de l'énergie sont différentes de celle pour l'injecter. Ainsi, une ligne capable de supporter 36 kVA en soutirage ne supportera pas forcément 36 kVA en injection.

Si la puissance de la centrale est supérieure à votre puissance de soutirage (cas possible pour les contrats de vente de surplus sur la tranche 100-500 kWc), le gestionnaire de réseau devra renforcer votre ligne de soutirage. Penser à vérifier l'impact que cela peut avoir sur votre contrat de fourniture (perte du tarif réglementé, montant du TURPE, ...). L'offre de votre fournisseur doit rester calé sur votre besoin en soutirage.

Afin de ne pas avoir à renforcer les composants du tableau de répartition de l'exploitation, il est possible de raccorder les onduleurs via une boîte de dérivation entre le tableau et le compteur.

QUELLE DECLARATION ?

Quelle que soit la puissance de la centrale et la forme d'autoconsommation, l'installation doit être déclarée auprès du gestionnaire de réseau (ENEDIS ou régie locale de distribution) :

- Pour l'autoconsommation totale ≤ 36 kVA et partielle sans vente de surplus, la démarche se limite à la signature (en ligne ou sur papier libre) d'une « **convention d'autoconsommation sans injection** » (CACSI). Il est quand même nécessaire de fournir l'attestation de conformité électrique de votre installation (consuel).

- En autoconsommation totale >36 kVA et lorsqu'il y a vente de surplus, il faut effectuer **une demande de raccordement** (en ligne ou sur papier libre). Le gestionnaire de réseau vérifiera, compte tenu des caractéristiques de votre installation solaire, si des travaux de renforcement sont nécessaires. Le porteur du contrat de vente doit être au même nom que le titulaire du contrat de soutirage.

Pour les cas isolés, où le producteur solaire demande à changer la nature d'exploitation de sa centrale (passer de l'injection totale à la vente de surplus ou inversement), le type de raccordement initial ne sera pas modifié. ENEDIS est en mesure de gérer de l'injection totale via la ligne de soutirage.

QUELS TRAVAUX / QUELS COÛTS ?

- L'intérêt de l'autoconsommation, comparé à l'injection totale, est, lorsque la puissance de la centrale ne dépasse pas celle de soutirage, de minimiser le coût du raccordement.
- A minima, le gestionnaire de réseau installera un compteur communicant, capable de comptabiliser les flux d'énergie dans les deux sens, (linky pour les consommateurs <36 kVA, « PME/PMI » de 36 à 250 et « Saphyr » en HTA) sauf si l'installation en est déjà pourvue.
- En autoconsommation totale et en autoconsommation partielle sans vente de surplus, aucune intervention technique n'est à prévoir. Coût = 0€
- Si la puissance de la centrale est supérieure à la puissance de sous tirage souscrite (voir encadré ci-dessus), le circuit devra être renforcé. Un devis vous sera adressé à l'issu de votre demande de raccordement même s'il stipule qu'aucun frais de raccordement n'est à prévoir.
- Ces travaux sont pris en charge à 60% par le gestionnaire de réseau.
- A la mise en service de l'installation, une signalétique sera apposée sur le boîtier de votre compteur pour identifier votre point de livraison comme producteur d'énergie. Cette information est importante pour préserver la sécurité des agents ENEDIS et des pompiers en cas d'intervention sur le réseau ou sur votre installation.

A savoir :

Frais d'utilisation du réseau (TURPE) pour les kWh solaires injectés :

Etant donné que le raccordement est réalisé sur la ligne de soutirage et que les kWh autoconsommés ne passent pas par le réseau, les frais de TURPE font l'objet d'une exonération totale ou partielle :

- En autoconsommation totale : exonération totale
- En autoconsommation partielle :
 - Composante de comptage : déjà facturée au titre de la consommation car le courant passe dans le même compteur.
 - Composante de gestion : elle est partiellement mutualisée avec le contrat de soutirage.

En € HT/an		TURPE (Valeur août 2022)
Autoconsommation totale		0
Autoconsommation partielle avec ou sans vente de surplus	≤36 kVA	8,28
	36 < ≤250 KVA	122,8
	>250 kVA	245,52
Autoconsommation collective	≤36 kVA	19,44
	36 < ≤250 KVA	271,44
	>250 kVA	433,8

Source : photovoltaïque.info



Pour faire de l'autoconsommation à partir d'une centrale sur toiture, il existe différentes stratégies :

- ▶ **Stratégie n°1** : Installer des panneaux dont la production est réservée exclusivement à l'autoconsommation, soit en autoconsommation totale, soit en revente de surplus. Ne permet pas toujours de valoriser l'intégralité de la surface disponible sur la toiture sauf pour les centrales dont la puissance est comprise entre 100 et 500 kWc.
- ▶ **Stratégie n°2** : Compléter une installation dédiée à la revente totale en ajoutant quelques panneaux pour faire de l'autoconsommation totale. Il y a dans ce cas deux centrales distinctes mais un seul contrat d'obligation d'achat signé avec l'Etat.
- ▶ **Stratégie n°3** : Réaliser deux installations distinctes sur un même toit. L'une est dédiée à l'injection totale, l'autre à l'autoconsommation avec vente de surplus, chacune avec un contrat d'achat. Un premier pour la vente totale, un second pour la vente de surplus.

Attention, lorsque plusieurs centrales sont réalisées en même temps, sur un même site (*), il faut distinguer deux hypothèses :

- Si elles sont construites avec un écart de temps inférieur à 18 mois, leurs puissances se cumulent. Dans le cadre du guichet ouvert bâtiment, vous ne devez pas dépasser 500 kWc maximum. Les tarifs d'achat (vente totale et vente de surplus) sont calés sur la puissance cumulée des projets (Voir exemple ci-dessous).
- Si l'écart temps séparant les projets est supérieur à 18 mois, ils sont alors considérés comme distincts (*). C'est le tarif d'achat des kWh solaires du trimestre en cours (arrêté tarifaire) qui s'appliquera à chacun des projets.

(*) Sont considérés comme deux projets distincts, deux projets réalisés dans un espace temps supérieur à 18 mois ou à plus de 100 m de distance ou par deux propriétaires différents.

Exemple de la stratégie n°3 : Vous souhaitez réaliser une centrale en autoconsommation de 20 kWc, une puissance correspondant à votre besoin. La surface de toiture disponible sur vos bâtiments (environ 750 m²) permet d'accueillir un projet de 150 kWc. Votre ligne de soutirage ne permet pas de supporter une puissance supérieure à 36 kWc (voir § raccordement).

Pour ne pas avoir à surdimensionner votre ligne de soutirage, certains installateurs proposent de diviser votre projet en deux :

- 1 centrale de 130 kWc avec un contrat de vente totale
- 1 centrale de 20 kWc pour l'autoconsommation avec un contrat de vente de surplus

Votre tarif d'achat sera défini en prenant en compte le cumul des deux puissances. Ainsi, pour la partie en autoconsommation, le tarif de vente de surplus sera celui de la tranche 100-500, plus avantageux que celui de la tranche 9-36. Par contre, vous ne percevrez pas la prime à l'investissement.



Au sol, vous pouvez envisager quatre modes de pose de panneaux :

<p><u>Sur bacs lestés</u> : Il s'agit de bacs posés sans fondation, au sol (ou sur toiture plate), sur lesquels sont fixés les panneaux. Souvent utilisé pour les installations de petite puissance.</p>	<p><u>Sur tables</u> : les panneaux sont installés sur des structures métalliques dont les supports sont le plus souvent enfoncés dans le sol (pieux battus). C'est le type de montage classique des champs solaires.</p>	<p><u>Sur ombrières</u> : souvent destinés, dans le domaine agricole, à protéger les animaux (exemple aviculture). Système soit posé soit ancré au sol.</p>

DEMARCHES ADMINISTRATIVES

Les formalités administratives et le contenu des dossiers à réaliser pour construire une centrale solaire au sol dépendent :

- De la puissance de la centrale installée,
- Des caractéristiques géométriques, à savoir la hauteur des panneaux,
- De l'impact potentiel sur l'environnement.

Au regard de l'urbanisme :

PUISSANCE SOLAIRE	≤ 3 kWc	3 kWc < P ≤ 1 MWc	P > 1 MWc
HORS SECTEUR PROTEGE (*)	Pas de formalité si la hauteur des panneaux est inférieure à 1.80 m Déclaration préalable au-delà de 1,80m de hauteur (R. 421-9 CU)	Déclaration préalable (R. 421-9 CU)	Permis de construire + enquête publique
EN SECTEUR PROTEGE (*)	Déclaration préalable (R. 421-11 CU)	Permis de construire (R. 421-11 CU)	

(*) Les sites entendus comme "secteurs protégés" sont les sites patrimoniaux remarquables et les abords de monuments historiques, les sites classés ou en instance de classement, les réserves naturelles, les cœurs de parcs ou autres espaces ayant vocation à être classés au cœur d'un futur parc. Les zones agricoles ne font pas partie des zones protégées, en dehors de parcelles qui seraient incluses dans le périmètre de protection d'un parc naturel ou d'un monument classé.

Restriction PLU/carte Communale/RNU : Sur parcelle agricole (ZA et ZN), l'activité solaire doit être compatible avec une activité agricole. La mention ENR ou PV accolée au zonage A ou N ne suffit pas si l'activité solaire est incompatible avec l'activité agricole.

Au regard de l'environnement :

CENTRALES COMPRISES ENTRE 300 kWc ET 1 MWc	CENTRALE > 1 MWc :
Etude environnementale au cas par cas. Décrire l'impact du projet sur un formulaire Cerfa.	Etude environnementale systématique. Observations sur le terrain. Intervention d'un bureau d'étude spécialisé.

A RETENIR :

Les centrales au sol sont soumises à **deux codes**, celui de **l'environnement** et celui de **l'urbanisme**. On distingue donc deux catégories de documents administratifs à préparer :

- Documents pour déterminer la conformité et la compatibilité du projet au PLU : déclaration préalable de travaux ou permis de construire (code de l'urbanisme) ;
- Documents pour évaluer l'impact environnemental du projet : évaluation environnementale ou examen au cas par cas (code de l'environnement).

Quel intérêt d'une pose au sol comparée à une pose sur toiture ?

Particularité des centrales solaire au sol en autoconsommation, leur puissance peut s'échelonner de quelques watts crête kWc à plusieurs mégawatts.

Pour les centrales au sol inférieures à 500 kWc, il est impossible de souscrire un contrat d'obligation d'achat. Donc,

- soit la centrale est destinée à faire de l'autoconsommation totale (petite puissance),
- soit, il faut souscrire un contrat commercial avec un fournisseur d'énergie pour valoriser le surplus (voir fiche 5)

Pour les centrales supérieures à 500kWc, un contrat d'obligation d'achat est envisageable via les appels d'offre autoconsommation. Attention, le cahier de l'appel d'offre CRE (version août 2022) exclu ce type de projet sur les parcelles agricoles.

Avantage d'une pose au sol	Avantage d'une pose sur toiture
Installation simple et peu couteuse (bac lesté, table classique) Tracker : Profil de production plus adapté au profil de consommation	Valorisation du surplus plus sûr grâce aux contrats d'obligation d'achat de l'Etat



Quelle orientation et inclinaison des panneaux en autoconsommation ?

Au sol ou sur toiture, lorsque vous vendez la totalité des kWh solaires produits par la centrale solaire, l'orientation plein Sud et l'inclinaison 30° est optimale.

En autoconsommation, installer les panneaux Est/Ouest peut s'avérer intéressante si vous consommez de l'électricité plutôt le matin et le soir ou si vous vendez votre surplus sur le marché spot (offre des fournisseurs d'énergie). Cette orientation présente en outre l'avantage de mieux valoriser la surface disponible des toitures de bâtiments à faitage symétrique (montage des deux côtés).

Si vous consommez de l'électricité toute la journée, vous serez avantagé par un toit faiblement incliné ou un système tracker.

Productible de référence Orléans (Source PVGIS)

kWh/kWc (*)	PENDE DE TOIT		
	10°/17%	17°/30%	35°/70%
SUD	1113	1158	1216
NORD	919	839	643
EST	1022	1013	973
OUEST	1018	1006	959

(*) Nombre de kWh d'électricité solaire produits par la centrale pour 1 kW de puissance installé.

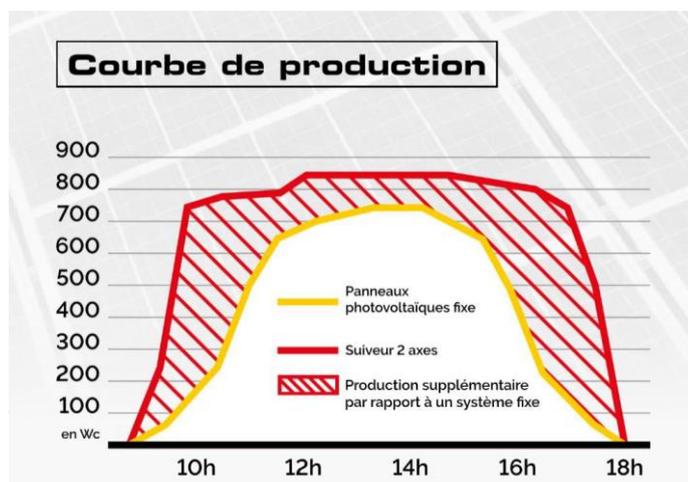
Au Nord, la perte de production est de l'ordre 40% sur un toit très incliné (35°), 20 à 25% sur un toit plus plat type hangar. A l'Est ou à l'Ouest, elle est moins importante : 8 à 13% selon l'inclinaison du toit.



Les trackers solaires, appelés également “suiveur solaire”, sont des systèmes de mât ancré au sol, articulé sur 1 ou 2 axes qui permettent aux panneaux de suivre la course du soleil.

Optimisés en orientation et en inclinaison, les modèles 2 axes peuvent produire 40% d'électricité en plus par rapport à une installation fixe sur toiture inclinée à 17° selon le simulateur PV Gis (*).

Dans le cadre de l'autoconsommation, cette solution présente l'avantage d'avoir une courbe de production plus régulière, du matin jusqu'au soir comme le montre le graphique ci-contre et ainsi d'optimiser le taux d'autoconsommation de la centrale.



Non éligible aux contrats d'achat du guichet

ouvert de l'Etat, l'électricité produite par les trackers est le plus souvent autoconsommée.

Il est aujourd'hui possible de vendre le surplus à un fournisseur d'énergie.

- Exemples d'offres commerciales : OKwind (14 kWc/75 m² et 22 kWc/117 m²), Deger (16m²/3kWc , 24m²/5kWc, 40m²/8kWc, 70 m²/14kWc)
- Investissement : environ 60 000 € pour un modèle de 20 kWc hors génie civil (prévoir un socle en béton d'environ 12 m³, 2.5 mx 2.5 m x 2 m) soit environ 2 fois plus cher qu'une installation de puissance équivalente sur toiture !
- Permis de construire : voir § "6.2.3 faire de l'autoconsommation avec une centrale au sol"
- Prix de revient du kWh solaire tracker en fonction du gain de production espéré :

	Solution fixe de référence	Avec tracker			
		-	+10%	+20%	+40%
Productible	1 100 kWh/kWc	1 100 kWh/kWc	1 210 kWh/kWc	1 320 kWh/kWc	1 540 kWh/kWc
Prix de revient du kWh (c d'€)	12	22	20	18	15

AVANTAGES

Capacité de production supérieure de 40% par rapport à une installation fixe (source PVGIS*).

Profil de production mieux adapté à l'autoconsommation.

Permet d'installer plus de puissance sur un minimum de place comparé à une pose au sol classique

INCONVENIENTS

Coût de l'investissement qui impacte le prix de revient du kWh solaire.

Plus de mécanique : sujet à pannes et frais d'entretien.

Non éligible au contrat d'achat de surplus de l'Etat

(*) PVGIS : logiciel de simulation de productible solaire, neutre, en libre accès sur internet



Ces kits sont constitués d'un ou plusieurs panneaux en fonction de la puissance, d'un onduleur et d'une structure permettant de les installer au sol, sur le pignon d'un bâtiment ou autre.

Leur mise en œuvre ne nécessite pas de compétence particulière. Ils sont simplement connectés sur votre réseau électrique à l'image d'un groupe électrogène.



Source image : Groupe Triangle autoconsommation

Mais attention, en l'absence d'intervention d'un spécialiste, veillez à respecter les règles de sécurité et obligations administratives : protection en cas de surcharge sur votre circuit, obligation de découplage, déclaration auprès d'ENEDIS (voir fiche 8). A défaut et en cas de dommages, toutes les conséquences seraient à votre charge.

Du fait de leur puissance, ces kits sont principalement destinés à faire de l'autoconsommation totale. Si vous souhaitez faire de la revente de surplus et percevoir la prime à l'investissement attribuée dans le cadre des contrats de l'Etat, l'intervention d'un professionnel agréé RGE est indispensable. Les panneaux devront être installés, sur une toiture inclinée ou sur une toiture plate sinon remplir une fonction d'allège, de bardage, de brise-soleil, de garde-corps, d'ombrière ou de pergolas.

Exemples de prix :

- 400 W : à partir de 500 € sans montage
- 3 000 Wc : de 3 à 8 000 € selon qualité du matériel et montage
- 6 000 Wc : à partir de 7 000 €
- 9 000 Wc : à partir de 10 000 €



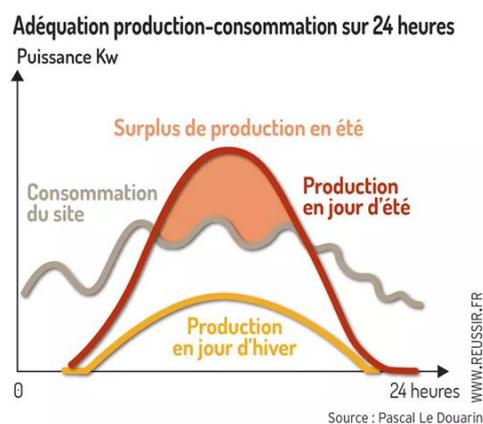
La démarche consiste à superposer la courbe de production de la centrale solaire avec celle de consommation (cf. fiche 3) afin de trouver le meilleur compromis de puissance de l'installation.

La ressource solaire est facilement modélisable. Des logiciels permettent de définir la courbe de charge d'une centrale en fonction de la période de l'année et de l'orientation des panneaux.

Superposer les deux courbes permet de quantifier, s'il y en a, le surplus de production et ainsi définir le niveau de puissance de la centrale qui permet de dégager le meilleur niveau de rentabilité.

Le nombre de panneaux installés est lié au **mode d'autoconsommation** choisi :

- Lorsque le surplus n'est pas valorisé, la puissance de la centrale est le plus souvent calée sur la consommation talon de l'installation (voir fiche 3).
- Lorsque le surplus est valorisé, deux cas de figure se présentent :
 - S'il est bien valorisé (cas des centrales sur toitures dont la puissance est comprise entre 100 et 500 kWc), **valorisez toute la surface de toiture disponible.**
 - S'il est mal valorisé (cas des centrales < 100 kWc dans le cadre du guichet ouvert), l'enjeu est alors d'avoir une installation suffisamment puissante pour faire baisser le prix de revient du kWh solaire mais pas trop pour ne pas générer trop de surplus.



Deux indicateurs techniques sont couramment utilisés pour évaluer l'intérêt de l'autoconsommation (*)

Le taux d'autoconsommation :
c'est le pourcentage de l'énergie produite par la centrale qui est consommée sur site.

Auto co (%) = $E_{consommée\ sur\ place} / E_{produite}$

Un taux d'autoconsommation élevé traduit une bonne valorisation des kWh solaire (absence de surplus). Un taux de 100% signifie que vous consommez la totalité des kWh produits. C'est l'objectif visé en autoconsommation totale. Atteindre 70-80% est déjà bien. 40% est insuffisant et signifie que la centrale est trop puissante par rapport à votre besoin. Il y a donc beaucoup de surplus. Vous devez trouver une solution performante pour le valoriser financièrement.

Le taux d'autoproduction :

Il traduit l'impact de votre centrale solaire sur la baisse de votre facture d'électricité.

Auto pro (%) = $E_{consommée\ sur\ place} / E_{consommée\ totale}$

Ce taux plafonne en générale à 40% ce qui signifie que vous produisez 40% de l'énergie que vous consommez. Il est à priori impossible d'être à 100%. Cela signifierait que vous ne consommez pas d'électricité en dehors de celle produite par la centrale. Un système de stockage permettrait d'atteindre 60-70%.

Ces deux critères fonctionnent sur le principe des vases communicants.

PUISSANCE	AUTOCONSOMMATION	AUTOPRODUCTION
↗	↘	↗
↘	↗	↘

(*) Un troisième critère existe : **Le taux de couverture** (Production totale annuelle/Consommation totale). Il permet de répondre à la question "A quel pourcentage êtes-vous autonome ?" Il est peu utilisé car ne prend pas en compte l'énergie produite non consommée (le surplus).



Estimer la rentabilité d'une centrale solaire en autoconsommation relève d'une étude au cas par cas. Il est possible, à partir de quelques points de repères, d'orienter sa stratégie initiale.

❶ ESTIMEZ LE PRIX DE REVIENT PREVISIONNEL DU kWh SOLAIRE

Le fonctionnement d'une centrale solaire étant facile à modéliser, il est possible d'estimer de façon fiable le prix de revient prévisionnel du kWh solaire produit par votre centrale.

Il se calcule en divisant le coût annuel de la centrale solaire (charges fixes et frais de fonctionnement) par le nombre de kWh produits annuellement.

Exemple pour une centrale de 160 kWc (Investissement 140 000 €)

Charges annuelles		Nombre de kWh produits annuellement (moyenne sur 20 ans) avec un productible de 1100 kWh/kWc : 176 000 kWh
Amortissement	7 000 €/an	
Frais financier	2 700 €/an	
Maintenance	1 000 €/an	
Lavage panneaux	220 €/an	Prix de revient moyen sur 20 ans du kWh produit = 7 centimes d'€
Assurance	900 €/an	
TURPE	122 €/an	
Taxe IFR	410 €/an	
Coût total	12 352 €/an	

A RETENIR

Il est important, pour ce calcul, de bien prendre en compte les éléments suivants :

- Prime à l'investissement du guichet ouvert de l'Etat pour les centrales < 100 kWc en revente de surplus
- Coût du raccordement : moins important, selon la puissance, en autoconsommation qu'en injection totale
- Abonnement annuel au TURPE : moins important également en autoconsommation

Attention, en autoconsommation totale, lorsque le surplus n'est pas valorisé, il est nécessaire de diviser le coût annuel de la centrale par le nombre **de kWh autoconsommés** et non le nombre de kWh produits. En effet, dans cette situation, des kWh sont produits mais non autoconsommés ni valorisés. Il faut donc les soustraire dans le calcul.

Couramment, ce calcul est fait sur 20 ans (durée du contrat d'achat). Il peut être opportun de le faire sur la durée de vie complète de la centrale solaire soit environ 30 ans.

Nos références de prix de revient de kWh solaire en fonction de la puissance de la centrale (en centimes d'euros/kWh)

(**)	3 à 9 kWc	20-36 kWc	20kWc tracker	100 kWc	160 kWc	250 kWc	500 kWc
Sur 20 ans	14 à 21 TTC	9 à 12 (HT)	22 (HT)	7 (HT)	6.5 (HT)	6.5 (HT)	6.5 (HT)
Sur 30 ans	10 à 17 TTC	7 à 9 (HT)	16 HT)	6 (HT)	6 (HT)	5.8 (HT)	5.5 (HT)

(**) Base de calcul : productible 1 100 kWh/kWc.

② ESTIMEZ LE GAIN SUR VOTRE FACTURE D'ÉLECTRICITÉ

Vous pouvez estimer grossièrement le gain sur votre facture d'électricité en calculant la différence entre le prix du kWh réseau économisé et le prix de revient du kWh solaire, puis, en multipliant ce résultat par le nombre de kWh économisé sur la facture (taux d'autoproduction).

Supposons :

- Electricité consommée en 1 an : 20 000 kWh
- Taux d'autoproduction : 40%
- Prix de revient du kWh solaire : 7 centimes
- Coût du kWh réseau économisé : 18 centimes

Calcul du gain :

- Gain : $(20\,000 \times 40\%) \times (18-7) = 880 \text{ €/an}$

Pour connaître le gain global de la centrale solaire, ajoutez à l'économie d'électricité, le gain lié à la vente de surplus (le cas échéant) : (Tarif vente surplus – prix de revient solaire) x nombre de kWh vendus en surplus.

Une étude au cas par cas permettra une prise en compte plus fine :

- De l'évolution du prix d'achat du kWh réseau sur les années à venir (inflation)
- De l'impact du prix du raccordement, du TURPE et de la prime investissement sur le prix de revient entre un kWh solaire en autoconsommation comparé à celui en injection totale.

③ CHOISISSEZ ENTRE INJECTION TOTALE ET INJECTION DE SURPLUS

L'autoconsommation totale est rentable à partir du moment où le prix de revient du kWh produit est inférieur au prix de revient du kWh réseau économisé.

Si votre installation est éligible à un tarif d'achat en injection totale ou en vente de surplus, il est nécessaire de prendre en compte ces points de repères pour orienter votre stratégie.

Les chiffres de ce tableau sont donnés à titre d'exemple

PRIX DE REVIENT DU kWh SOLAIRE PRODUIT	PRIX DU kWh RESEAU ECONOMISE (*)	TARIF VENTE TOTALE	TARIF VENTE SURPLUS	STRATEGIE
0,07	0,05	0,12		Le prix du kWh solaire est supérieur au kWh réseau. Autoconsommer n'est pas rentable. Préférez l'injection totale.
	0,10	0,12		Le prix du kWh solaire est inférieur au kWh réseau du moment. Mais celui-ci est inférieur au tarif en vente totale. Préférez l'injection totale
	0,18	0,12	0,07	Le prix du kWh réseau est supérieur au prix du kWh solaire et au tarif en injection totale. Vous avez intérêt à autoconsommer. Mais, le prix du surplus étant faible, il faut limiter les kWh solaires excédentaires.
			0,12	Le tarif en injection totale est identique à celui de la vente de surplus. L'autoconsommation avec revente de surplus s'impose

(*) Attention : le prix du kWh réseau augmente avec le temps (augmentation constatée ces 15 dernières hors inflation exceptionnelle : 2-3%/an. Prévision : 5-7%/an). Il peut ainsi vite rattraper les tarifs de vente totale et vente de surplus.



Voici un état des lieux des subventions attribuées pour aider au financement des projets solaires (liste non exhaustive soumise à titre indicatif). Toutes ne concernent pas directement l'autoconsommation.

Prime à l'investissement

- Réservée aux projets avec revente de surplus dans le cadre des contrats d'achat de l'Etat (voir fiche 5) pour les centrales < 100 kWc
- 110 à 510 €/kWc selon puissance

Taux de TVA réduit

- 10% sur l'achat du matériel pour les centrales ≤ 3 kWc (20% si > 3 kWc)
- 5.5% sur l'aérovoltaïque (*)
- L'installateur doit être qualifié RGE

Eco prêt à taux zéro (ECO PTZ)

- **Réservé au solaire thermique (production de chaleur) et aérovoltaïque (*)**
- Activable jusqu'à fin 2023
- Montant du prêt : 7 à 30 000 €

Ma Prime Rénov

- A remplacé le crédit d'impôt pour la transition écologique (CITE)
- Aide habitat
- **Réservée au solaire thermique et aérovoltaïque (*)**

Ma prime Rénov Sérénité

- Prime habitat
- Réservée aux foyers modestes et très modestes

Prime énergie (Certificat d'économie d'énergie)

- Aide habitat
- **Réservée aux travaux de chauffage et d'isolation**

Aide locales Région Centre Val de Loire

- Nom : Energie renouvelable 1 € citoyen = 1 € Région
- Financement de projets participatifs portés par une SCIC, SAS, SA, SEM
- Aides à l'émergence de projet, études et investissement

(*) Aérovoltaïque : Technique qui permet de produire de l'électricité et récupérer de la chaleur simultanément. Utilise des panneaux dits hybrides.

ANNEXE 1 : Cas-type IRRIGATION



En autoconsommation solaire, le cas des irrigants est particulier :

- La saisonnalité de leur besoin: Les irrigants consomment de l'électricité uniquement au printemps et en été, pas forcément de façon régulière.
- Etant donné leur profil de consommation atypique, ils peuvent bénéficier de tarifs avantageux auprès des fournisseurs d'énergie.
- L'éloignement des stations de pompage vis-à-vis des sites potentiels de production solaire (le plus souvent des toitures de bâtiment), rend impossible l'autoconsommation dite individuelle. L'autoconsommation collective peut être une solution.

L'enjeu majeur de l'autoconsommation solaire pour les irrigants est la valorisation financière du surplus.

Simulation de rentabilité

Exemple pour un irrigant du Loiret sur le bilan de consommation de la campagne 2022 :

- Puissance souscrite 90 kVA
- 16 semaines d'irrigation du 25 avril à la 3^{ème} semaine d'août. Deux semaines d'arrêt en juin et juillet.
- 135 000 kWh consommés dont 84 000 kWh (62%) en heure pleine (tranche horaire 7h00-23h00) soit 750 kWh/jour.

Plusieurs puissances de centrales solaires ont été simulées pour estimer le gain potentiel de l'autoconsommation (*)

CONSOMMATION ANNUELLE		135 000 kWh	
PUISSANCE CENTRALE SOLAIRE	65 kWc	150 kWc	300 kWc
PRODUCTION SOLAIRE/AN	76505 kWh	176550 kWh	353 100 kWh
TAUX D'AUTOCONSOMMATION	40%	29%	16%
TAUX D'AUTOPRODUCTION	37% des HPE	62% des HPE	68% des HPE

(*) Simulation faite plein Sud sur un toit incliné à 35° (1177 kWh/kWc)

65 kWc est la puissance qui permet d'atteindre le taux d'autoconsommation le plus élevé donc qui génère le moins de surplus, 300 kWc, celle qui permet d'effacer le plus de kWh réseau. Une centrale solaire de 300 kWc adossée à un contrat de revente de surplus du guichet ouvert de l'Etat est la solution idéale.

A SAVOIR

Compte tenu des offres de prix avantageuses des fournisseurs d'énergie, l'autoconsommation solaire peut s'avérer non rentable pour certains irrigants à ce jour.

INTERETS DE L'AUTOCONSOMMATION COLLECTIVE POUR L'IRRIGATION

- Elle permet d'alimenter avec des kWh solaires le moteur électrique de la pompe bien que la centrale de production ne soit pas raccordée sur la ligne de soutirage de la station (les stations de pompage sont parfois isolées du site d'exploitation, loin des bâtiments).
- Même si la centrale est sur le même site que la station de pompage, elle peut éviter de payer un renforcement de ligne de soutirage (voir fiche 8 sur le raccordement) à condition toutefois que le bilan financier de la démarche reste positif.