



Systèmes Autonomes Photovoltaïques : Couplage DC ou AC ?

Clément Brossard, Clément Joulain, le 10/07/2014

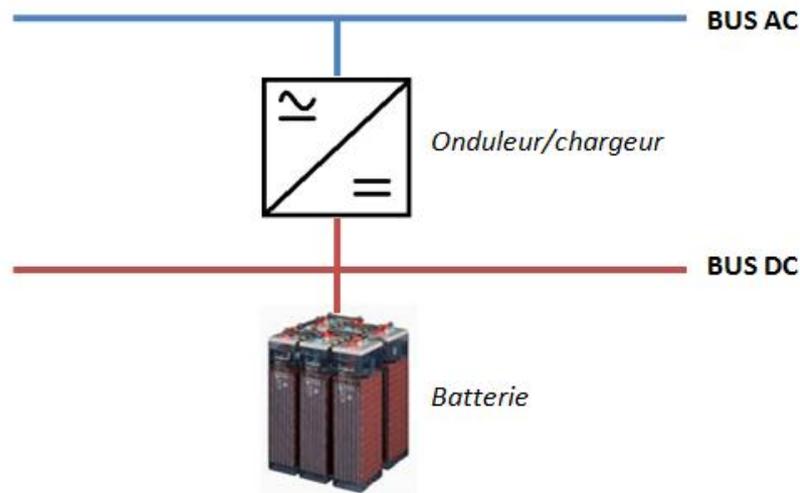
Sommaire

1. Introduction.....	2
2. Couplage DC.....	2
a) Présentation.....	2
b) Fonctionnement et régulation.....	3
3. Couplage AC.....	4
a) Présentation.....	4
b) Fonctionnement et régulation.....	5
4. Comparaison des deux solutions.....	5
a) Comparaison des performances.....	5
b) Comparaison économique.....	7
c) Avantages et inconvénients.....	9
5. Conclusion.....	10



1. INTRODUCTION

Sur le marché du photovoltaïque en site isolé, deux grandes architectures de systèmes coexistent. Le couplage DC et le couplage AC. Le nom de chaque mode de couplage fait référence au BUS sur lequel les générateurs photovoltaïques, éoliens et/ou hydrauliques sont raccordés.



Ces dernières années, et notamment avec l'avènement du photovoltaïque raccordé réseau, le couplage AC utilisant des onduleurs de connexions réseaux est en pleine croissance. On peut donc se demander quel type de système est le plus judicieux d'un point de vue :

- Performances
- Qualité de régulation
- Installation électrique
- Economique

Nous proposons dans cet article une analyse critique basée sur la théorie et la pratique dans le but de mieux cerner les avantages et inconvénients de chaque solution.

Avant tout, voici un rappel des principaux aspects techniques de chaque solution.

2. COUPLAGE DC

a) Présentation

Historiquement, le couplage DC est le plus courant. Il consiste à raccorder le champ photovoltaïque sur le bus DC des batteries. Ce couplage s'est appliqué naturellement puisque le courant produit par les modules photovoltaïques est continu. Le nombre de cellules photovoltaïques a donc été adapté pour que la tension des modules corresponde à la tension des batteries plomb en 12 V DC notamment.

Chaque générateur est donc raccordé sur les batteries via un régulateur, qui a pour fonction de réguler la charge électrique de la batterie.

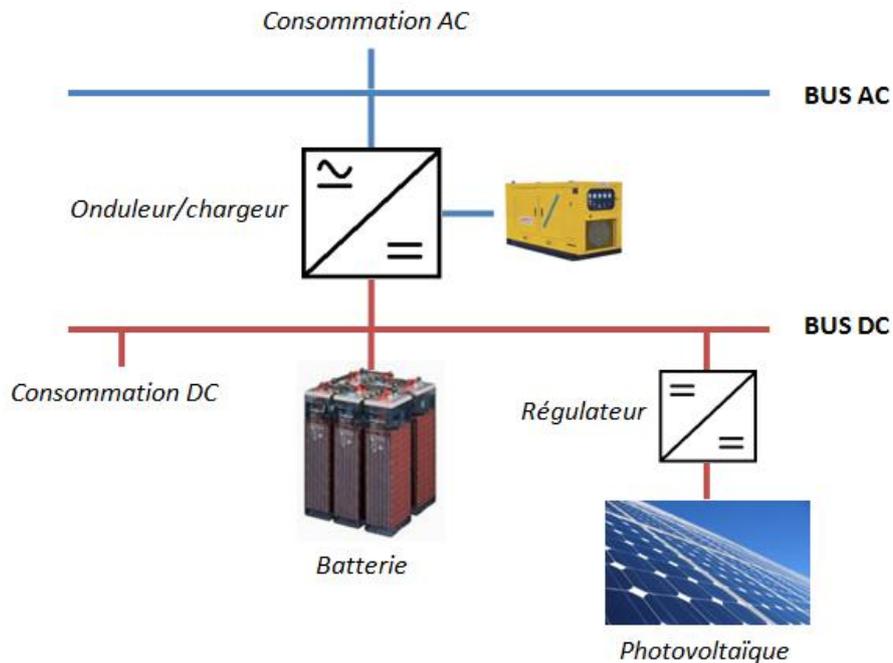


Schéma type de couplage DC des générateurs (système hybride PV - Diesel)

L'onduleur est très souvent associé à un chargeur, le tout assemblé dans un même boîtier appelé onduleur/chargeur. Ce convertisseur bidirectionnel permet :

- de produire du courant alternatif pour les récepteurs à partir du courant continu des batteries (mode onduleur - décharge des batteries)
- de recharger les batteries à partir d'une source d'énergie alternative, comme un groupe électrogène ou le réseau électrique (mode chargeur)

L'onduleur/chargeur assure la gestion du système : il contrôle de la décharge des batteries et appelle une source d'énergie conventionnelle en appoint de puissance ou d'énergie.

b) Fonctionnement et régulation

Les flux d'énergies de production et consommation transitent sur le BUS DC. Les différents appareils raccordés sur le BUS DC utilisent la tension du BUS, image de l'état de charge des batteries, pour appliquer leur stratégie de régulation.

Quand la tension du BUS DC est élevée, les batteries sont chargées et il y a un excès de puissance sur le BUS, les régulateurs photovoltaïques réduisent donc la puissance solaire, voire la coupe totalement.

A l'inverse, quand la tension batterie est basse, l'onduleur/chargeur peut faire appel à une source d'énergie AC comme un groupe électrogène ou le réseau pour recharger les batteries. Si cette source est indisponible, l'ultime solution pour protéger les batteries d'une décharge trop profonde consiste à couper la fourniture d'énergie à la charge électrique : le delstage.

En couplage DC, les batteries et le bus DC sont donc au cœur du système. Tout autre source de production, comme l'éolien, pouvant être raccordé sur le bus DC est intégrée au système, moyennant une régulation adaptée.

3. COUPLAGE AC

a) Présentation

Le couplage AC, plus récent, a pu se développer grâce à l'émergence de l'électronique de puissance dans les années 1990. Les onduleurs/chargeurs de plus en plus performants, robustes et bon marché, associés au développement rapide des onduleurs « raccordés réseaux » ont favorisé la naissance de cette solution, portée par les grands fabricants du secteur.

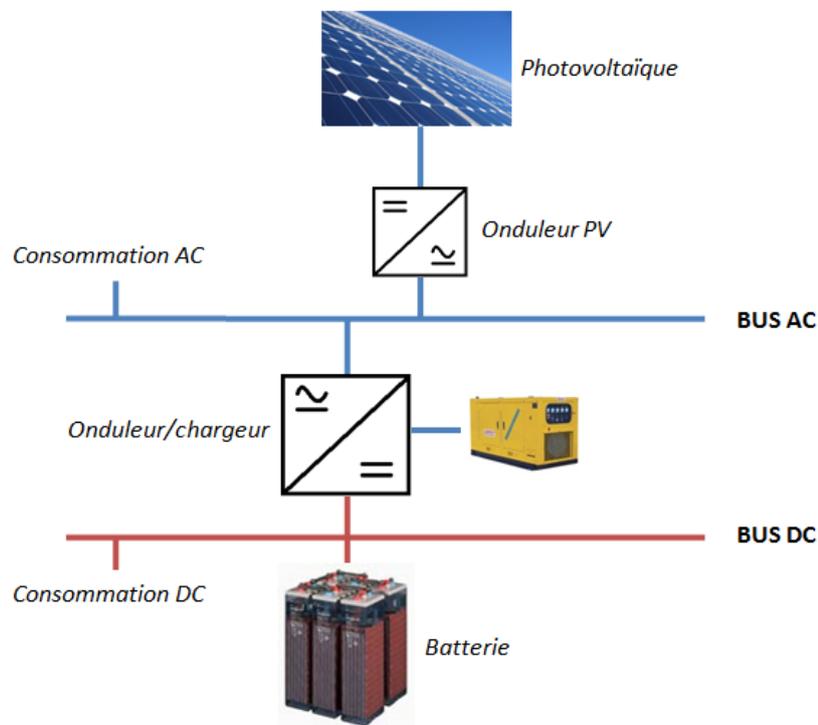


Schéma type de couplage AC

Les sources d'énergies sont raccordées sur le BUS AC, qui est lui-même généré et régulé par l'onduleur/chargeur depuis le parc batterie. Le BUS AC crée par l'onduleur/chargeur offre un support de tension alternative sur lequel l'onduleur de connexion réseau peut se connecter et réinjecter, à l'image du fonctionnement classique en « raccordé réseau ».

Des sources d'énergie AC comme par exemple un groupe électrogène ou le réseau électrique public peuvent être intégrées sur le BUS AC. En pratique, ces sources sont branchées sur l'onduleur/chargeur qui se charge de contrôler la synchronisation des phases avant de les raccorder sur le BUS AC.

b) Fonctionnement et régulation

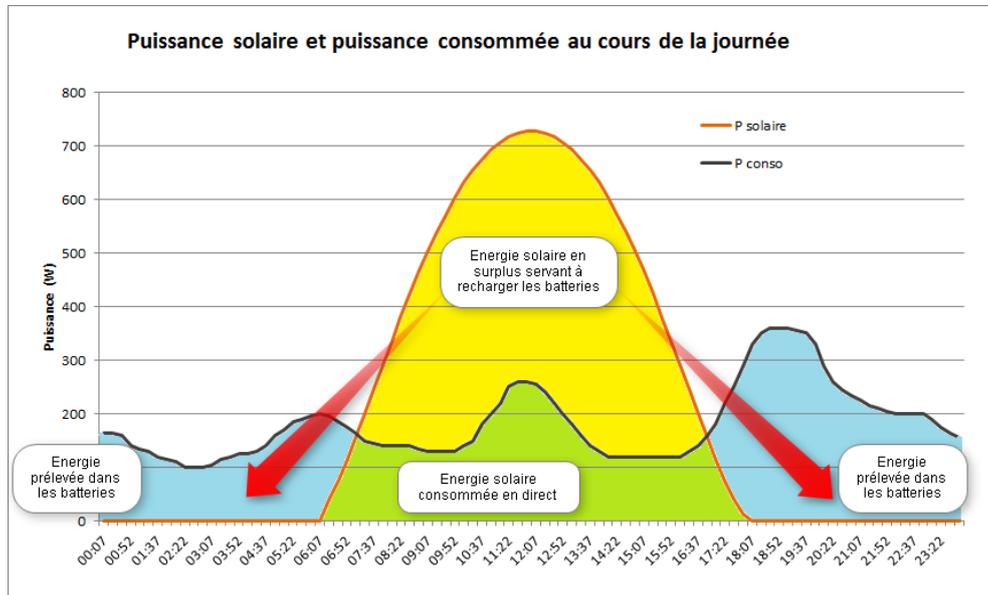
La puissance des sources d'énergie (photovoltaïque, éolien, pico-hydraulique) alimente directement la charge électrique. Le surplus de puissance sur le BUS AC recharge les batteries à travers l'onduleur/chargeur (mode chargeur), et en cas de manque de puissance ou la nuit, le complément est fourni par l'onduleur/chargeur à l'aide des batteries (mode onduleur).

Dans le cas où la puissance produite est supérieure à la puissance consommée et les batteries sont chargées, les batteries ne peuvent plus accepter la charge. L'onduleur/chargeur élève alors volontairement la fréquence de sortie pour signifier aux onduleurs photovoltaïques de réduire leur puissance. La puissance photovoltaïque est ainsi régulée en dégradant volontairement le point de fonctionnement du champ photovoltaïque.

4. COMPARAISON DES DEUX SOLUTIONS

a) Comparaison des performances

Attachons nous à comparer les performances des deux modes de couplage, en fonction de la part d'énergie consommée « en direct », c'est-à-dire le jour, sans étape de stockage d'énergie dans la batterie, et la part « différé », le surplus de production restitué après stockage :



En effet si en couplage AC, la production consommée directement n'est affecté que du rendement de l'onduleur de connexion réseau, le surplus et ce qui transite par les batteries parcourt un chemin plus complexe : onduleur, chargeur batteries, cycle de batterie, puis onduleur. Le rendement de conversion de la puissance électrique fourni par le champ photovoltaïque en est donc affecté.



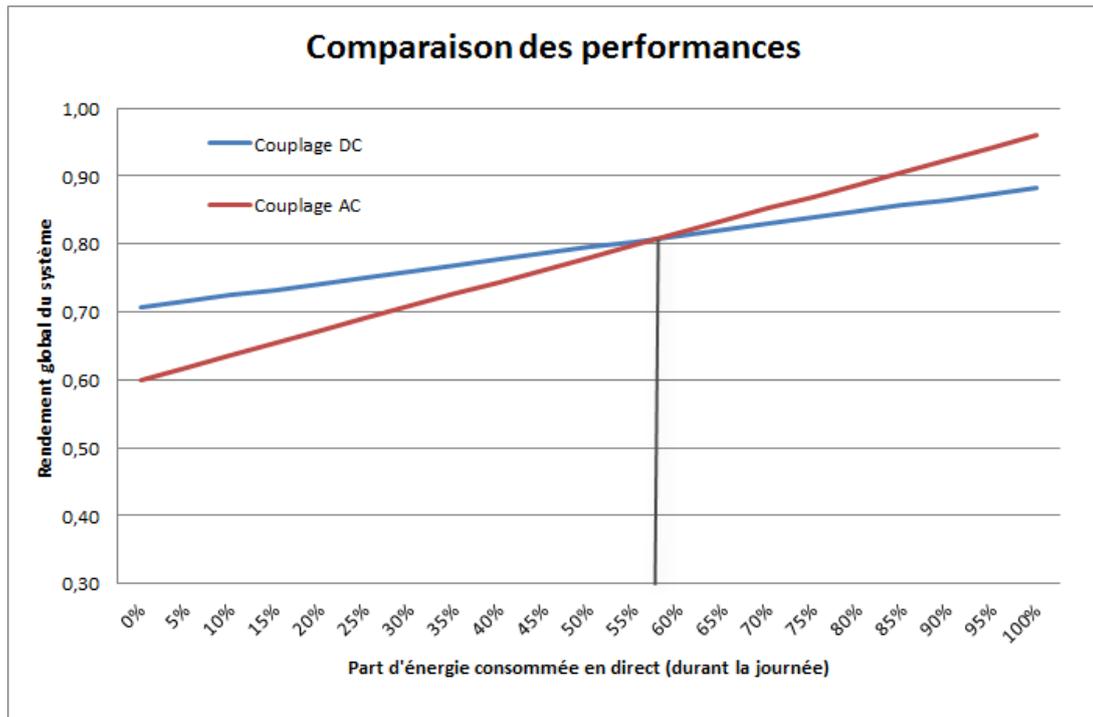
Couplage AC			
Mode de consommation de la production	Appareil	Rendement Unitaire	Rendement Global
Direct	Onduleur PV réseau	96%	96,0%
Différé (stockage)	Onduleur PV réseau	96%	60,1%
	Chargeur	85%	
	Batterie	80%	
	Onduleur sur batterie	92%	
Couplage DC			
Mode de consommation de la production	Appareil	Rendement Unitaire	Rendement Global
Direct	Régulateur MPPT	96%	88,3%
	Onduleur sur batterie	92%	
Différé (stockage)	Régulateur MPPT	96%	70,7%
	Batterie	80%	
	Onduleur sur batterie	92%	

Calcul des rendements de conversion en fonction du type de couplage et du mode de consommation : direct ou différé

On remarque qu'effectivement la production consommée directement en couplage AC dispose d'un bon rendement, mais qu'à l'inverse la production consommée en différée est très impactée par les différents intermédiaires de conversion. Le couplage DC dispose de rendements plus stables entre les deux modes de consommation de la production.

Le rendement global sur une période va donc dépendre de la proportion d'utilisation de la production solaire en directe et en différée.

En faisant varier la proportion d'énergie consommée en directe, nous obtenons les courbes de rendement de conversion (hors ratio de performance photovoltaïque) suivantes :



Nous constatons qu'il faut consommer plus de 60 % de la production d'énergie en direct pour justifier le couplage AC du strict point de vue des performances.

Egalement, la différence de rendement de la chaîne de conversion varie entre 0 et 10 % entre les deux systèmes.

Rappelons qu'à ce rendement de conversion, il faudra appliquer le ratio de performance du champ photovoltaïque (environ 0,85) pour obtenir le ratio de performance global du système photovoltaïque et permettant de dimensionner la puissance crête au regard de l'irradiation solaire et de la consommation du site.

En conclusion sur les performances, la comparaison de rendement de conversion entre les deux systèmes doit prendre en compte le taux d'utilisation en directe de la puissance solaire. Un travail sur la courbe de charge des sites est donc à mener en amont du choix du système. Ainsi pour les utilisations principalement de jour on privilégiera le couplage AC, alors que pour des utilisations constantes ou hors période de d'ensoleillement on privilégiera le couplage DC. Egalement les consommations en courant continu sur le parc batteries, on privilégiera le couplage DC.

b) Comparaison économique

Comparons maintenant les différences économiques liées à la mise en œuvre de deux architectures de couplage.

Les architectures sont similaires sur de nombreux points. Les différences se situent sur les postes :

- de raccordement des sources d'énergie sur le BUS AC ou le BUS DC : coffrets électriques

- de régulation/conversion des sources d'énergies renouvelables : régulateurs de charge DC contre onduleurs réseau AC

Les coffrets de protections électriques

Dans le cas du couplage DC, un surcoute est induit par la complexité accrue des coffrets DC servant au raccordement des multiples appareils. Comparativement au courant AC, les coffrets en courant DC sont plus imposants car les courants en jeu sont plus élevés, et nécessitent des conducteurs de plus fortes sections. De plus, les câbles et protections DC sont moins courants sur le marché et donc plus onéreux.

En revanche, les coffrets AC sont moins complexes et donc moins onéreux.

Voici des tarifs réels issus de projets réalisés par System Off Grid :

<i>Type de système</i>	<i>Prix Tableautier des coffrets électriques</i>
Couplage DC 36 kWc (8 régulateurs de 4 kW)	9 500 € HT
Couplage AC 30 kWc (2 onduleurs 12 kW)	6 600 € HT

En ramenant le prix au Watt Crête des coffrets, le couplage DC est 20% plus cher que le couplage AC.

Différence de coût entre régulateurs DC et onduleurs AC

En couplage DC, le cout d'un régulateur MPPT de forte capacité, utilisé au meilleur de ses possibilités, oscille entre 100 € et 150 € par kWc de PV installé. En couplage AC, le cout d'un onduleur réseau varie entre 270 € par kWc pour les petits modèles (3 kW) et 140 € par kWc pour les modèles plus puissants (jusqu'à 20 kWc).

De manière générale, la différence de prix sur un projet complet clé en main n'excède pas 3 à 5%. Le couplage DC est plutôt avantageux pour les puissances faibles à moyennes (jusqu'à 10 kWc) et le couplage AC pour les puissances moyennes à fortes (au-delà de 10 kWc).

c) Avantages et inconvénients

Après l'analyse des performances et des couts, explorons les avantages et inconvénients de chaque type de couplage d'un point de vue fonctionnalité, installation et exploitation :

	Avantages	Inconvénients
Couplage DC	<ul style="list-style-type: none"> • Grande variété de fabricants • Possibilité de mixer des composants de différentes marques • Architecture historique, bien connue des installateurs et facile à mettre en œuvre • La source d'énergie est raccordé directement sur les batteries ce qui rend la charge fiable en cas de défaillance des autres composants 	<ul style="list-style-type: none"> • Injection réseau possible mais peu développée et nécessité de mettre un système anti-ilotage (VDE 126) • Câblage DC plus complexe et onéreux que le câblage AC • Le système doit être centralisé (difficulté de transport de l'énergie en courant DC) • Toute la puissance renouvelable passe à travers les onduleur/chargeurs qui doivent être dimensionnés en conséquence.
Couplage AC	<ul style="list-style-type: none"> • Raccordement photovoltaïque simplifié en courant AC • Avantageux pour les mini réseaux (extension de puissance et extension géographique simplifiée) • La puissance renouvelable fournie aux consommateurs peut être supérieure à la puissance des onduleur/chargeurs • Bénéficie des baisses de prix et des augmentations de rendement des onduleurs « raccordé réseau » 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible nombre de fabricants d'onduleurs/chargeurs compatibles avec la variation de fréquence • Faible nombre d'onduleurs « raccordés réseau » compatibles avec la variation de fréquence • Programmation des composants plus complexe • Risque de réinjection de puissance non régulée dans le groupe électrogène ou le réseau (sans protection anti-ilotage VDE 126). • Nécessité de surdimensionner les onduleur/chargeurs pour offrir une capacité de charge suffisante pour écouler la puissance renouvelable+ groupe

		<ul style="list-style-type: none">• Présence d'un convertisseur supplémentaire entre le champ photovoltaïque et la batterie : risque supplémentaire à gérer en cas de défaillance de cet intermédiaire
--	--	--

5. CONCLUSION

Le choix du couplage AC ou DC sur les projets sites isolés est primordial et va conditionner le bon fonctionnement et la bonne performance du système. Chaque solution possède ses détracteurs : fabricants, installateurs ont parfois leurs préférences et habitudes. Nous avons cependant démontré qu'en termes de performance, les méthodes de calcul doivent prendre en compte la part d'énergie consommée directement par la charge et celle consommée en différée. Le couplage AC reste plus performant uniquement en cas de forte consommation de jour. Le reste du temps, l'énergie produite subit un parcours d'intermédiaire faisant chuter son rendement.

En termes de coût, le couplage DC mettant en jeu des courants importants est pénalisé au niveau de la protection électrique mais qu'il rattrape par des coûts de régulateurs solaires très faible. Le principal inconvénient du couplage DC à longtermes été la faible tension des champs photovoltaïque (150 Voc) provoquant de nombreuses chaînes de modules et des surcoûts de câblage. Mais les fabricants l'ont bien compris et les régulateurs solaires MPPT monte aujourd'hui à des tensions équivalentes aux onduleurs AC (entre 600 et 1000 V oc).

La régulation et le monitoring sont également des points très importants, mais ces aspects dépendent davantage des marques de matériels que de l'aspect couplage DC ou AC en tant que tel.

Chaque projet mérite donc un examen approfondi au cas par cas pour le choix de la solution la plus pertinente. C'est pourquoi les études de faisabilité et d'avant projet prenant en compte l'ensemble des contraintes, ont toutes leur importance pour la réussite d'un projet en site isolé.

Clément Brossard, Clément Joulain

System Off Grid – Bureau d'études Energies Renouvelables

www.systemoffgrid.com