

Université de Mohamed Khidher  
Biskra

Faculté des sciences et technologies  
Département de génie électrique  
Filière : énergies renouvelables

# Les Types des systèmes photovoltaïque connecté au réseau

# Plan de travail

- **Introduction**
- **Classifications des Centrales Photovoltaïques**  
**Connectées au Réseau**
- **Technologies des onduleurs couplés au réseau**
- **Les différents types de systèmes photovoltaïques**

# Introduction

- Le raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau électrique nécessite des dispositifs d'électronique de puissance pour adapter la source à la charge. Ces dispositifs sont des convertisseurs statiques de puissance qui assurent la conversion et la transmission de la puissance délivrée par les panneaux photovoltaïques vers la charge. La croissance exceptionnelle de l'utilisation des systèmes photovoltaïques connectés au réseau est due essentiellement aux efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance.

# Classifications des Centrales Photovoltaïques

## Connectées au Réseau

- Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante :

### **1. Centrales de petite taille ( $P=1$ à $10$ KW)**

Pour des applications sur les toits de maisons individuelles : les écoles, parkings, ...  
Elles se connectent au réseau basse tension .

### **2. Centrales de taille moyenne ( $P=10$ à $100$ KW)**

Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à **la basse** ou à **la moyenne** tension du réseau de distribution électrique selon sa taille .

### **3. Centrales de grande taille ( $P=500$ KW)**

Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité.  
On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non .

# Technologies des onduleurs couplés au réseau

**Onduleurs centralisés (central inverter)**

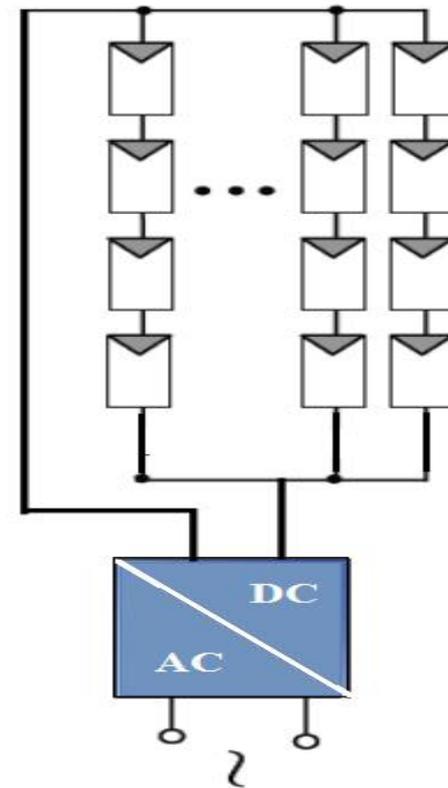
**Onduleurs "de Rangée"**

**Onduleurs modulaires (module inverter)**

**Onduleurs multi-string**

# 1) Onduleurs centralisés (central inverter)

- La topologie la plus ancienne et la plus classique est composée d'un seul onduleur .
- Généralement, l'onduleur central est doté d'une **commande MPPT** .  
Pour ce type d'architecture, les panneaux photovoltaïques sont montés en rangées pour former une chaîne « **string** »
- lorsqu'une panne survient sur l'onduleur central, la production de l'énergie s'arrête complètement.
- Ce montage est généralement utilisé pour des installations de grandes puissances (20-400 kW )



# 1) Onduleurs centralisés (central inverter)

## Les Avantages :

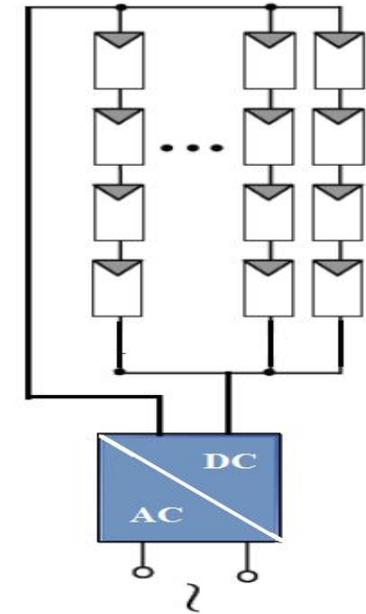
L'avantage de la topologie « onduleur central » sont :

- simplicité de mise en œuvre : un seul onduleur connecté au champ photovoltaïque est nécessaire.
- l'onduleur central demande un faible coût d'investissement
- une maintenance simple.
- La simplicité du montage

## Les inconvénients :

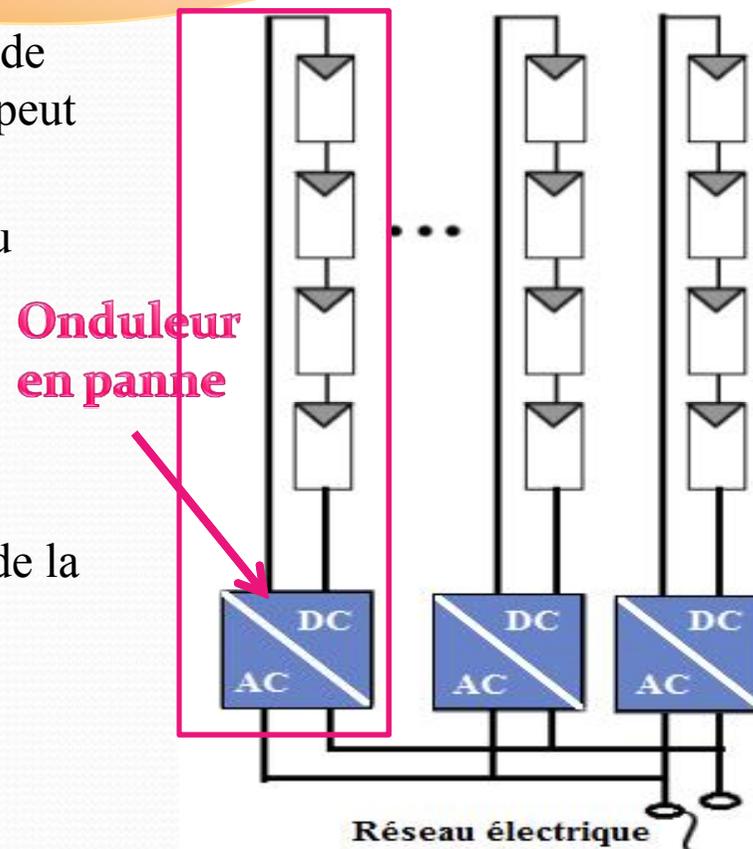
Par contre, ce montage présente plusieurs défauts :

- Pertes de conversion solaire (un seul MPPT pour un ensemble de modules)
- Aucune continuité de service en cas de panne de l'onduleur



## 2) Onduleurs "de Rangée"

- Dans ce cas, le module photovoltaïque est constitué de chaînes. Chaque chaîne est reliée à un onduleur qui peut être doté d'un système de **contrôle MPPT**
- Les onduleurs sont ensuite connectés en parallèle au réseau électrique.
- L'intérêt dans ce concept est d'utiliser un plus grand nombre d'onduleurs du même type.
- si un onduleur tombe en panne, seule la production de la rangée concernée est défaillante .

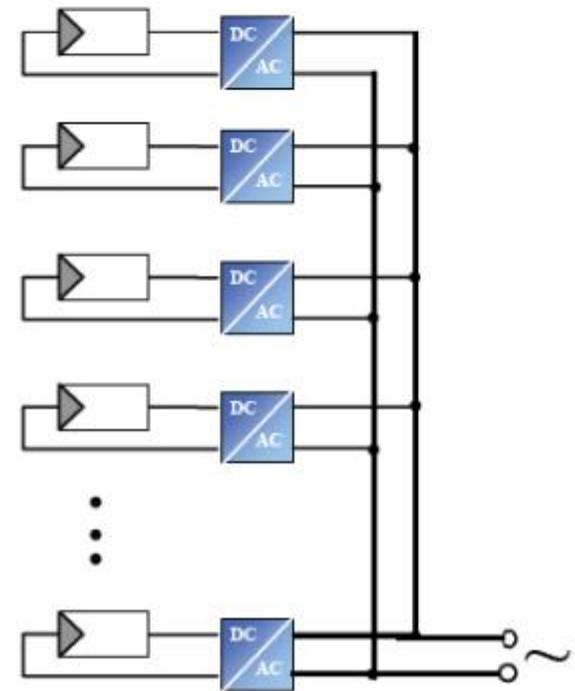


- La topologie « onduleur rangée » permet d'améliorer le contrôle de la puissance disponible par string grâce au MPPT de chaque onduleur.

### 3) Onduleurs modulaires (module inverter)

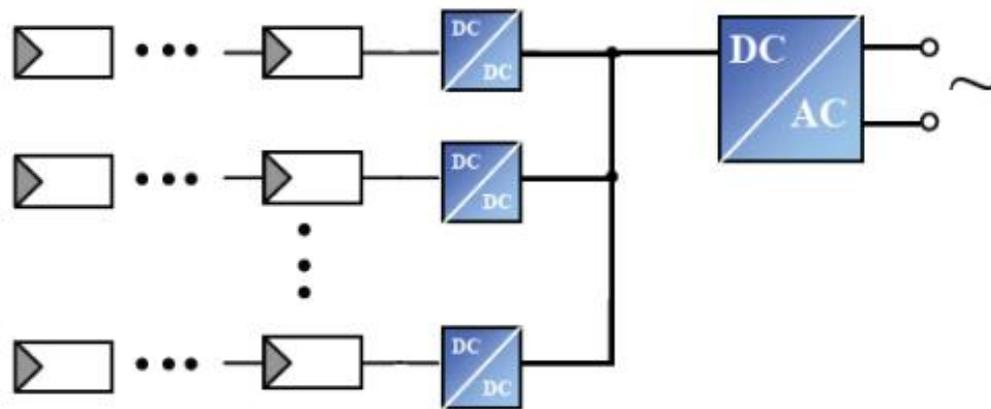
- Dans cette architecture, chaque panneau est muni de son propre onduleur (Figure ).
- ce qui permet d'éliminer les problèmes dûs au déséquilibre entre les panneaux. Mais le nombre élevé des onduleurs et le câblage de l'installation entraînent des coûts supplémentaires.

Généralement, cette topologie n'est applicable que pour des installations de faible puissance variant entre 50 W et 400 W.



## 4) Onduleurs multi-string

- La configuration multi-string est **la combinaison** entre la configuration par onduleur **central** et la configuration par **strings**.
- Le principe de cette méthode est basé sur le fait que chaque chaîne est reliée à un **convertisseur DC-DC** doté de sa propre commande **MPPT** permettant à chaque chaîne de fonctionner à son point de puissance maximale.
- Ces convertisseurs DC-DC sont connectés à onduleur central à travers un bus continu comme le montre la figure .



# Les différents types de systèmes photovoltaïques

## Structure générale d'un système photovoltaïque connectée au réseau

Il existe deux types de structures de système photovoltaïque :

- 1. Les systèmes à connexion directe au réseau :** cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque connecté directement, à l'aide d'un seul **convertisseur DC/AC (onduleur)** au réseau électrique.
- 2. Le système à bus continu intermédiaire :** Le générateur photovoltaïque est un **convertisseur DC/DC (hacheur)** et un **convertisseur DC/AC (onduleur)** connectés entre eux par un bus continu intermédiaire.

# Les systèmes à connexion directe au réseau

## 1. Structure à convertisseur unique

- Le dispositif présenté par la Figure est le plus simple, car il comporte le moins de composants possibles.
- On associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. La tension continue obtenue alimente directement un onduleur central, qui fournit la tension sinusoïdale désirée (230 V).

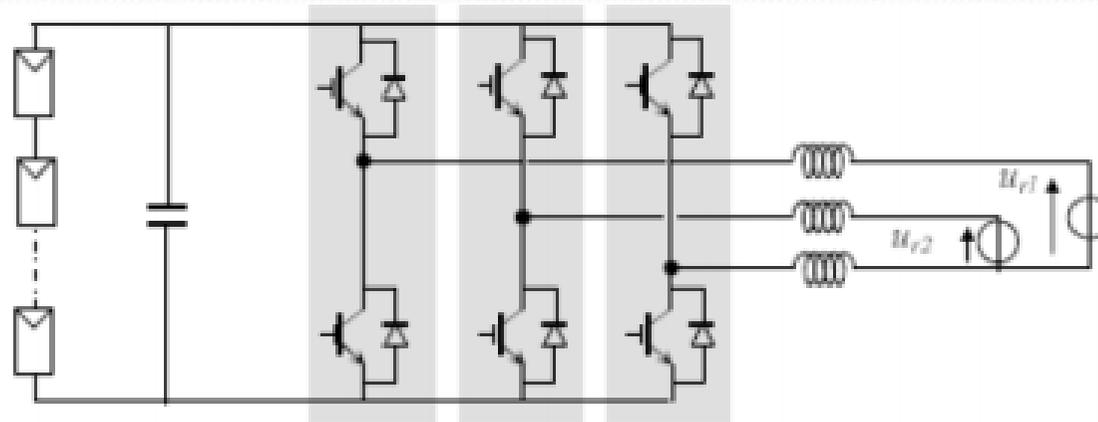
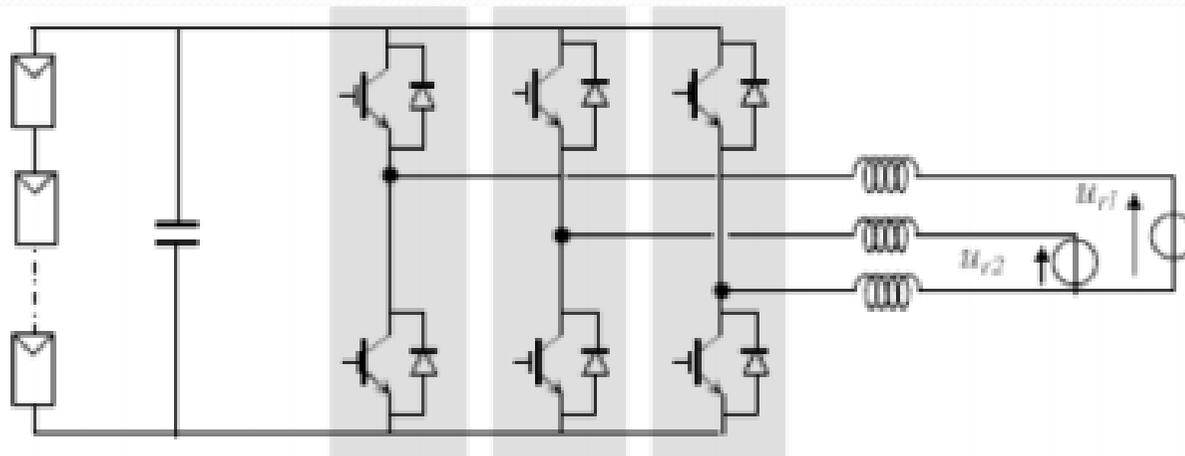


Figure : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur

- Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système photovoltaïque du réseau.
- L'inconvénient majeur de ce dispositif est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur.

De plus, le contrôle du point de puissance maximum de la puissance est voisin, car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement



**Figure : Plusieurs modules PV en série vers un seul onduleur**

## 2. Structure avec bus à basse tension alternative

Une autre possibilité est de placer le transformateur en aval du **convertisseur DC/AC**.

Ce transformateur travaille alors à la fréquence du réseau électrique .

La figure montre un onduleur associé à un circuit de commande qui est directement connecté au module photovoltaïque. La tension en sortie de ce dernier est transformée en une tension alternative de fréquence 50 Hz (Onduleur). vers un transformateur central qui l'élève au niveau désiré.

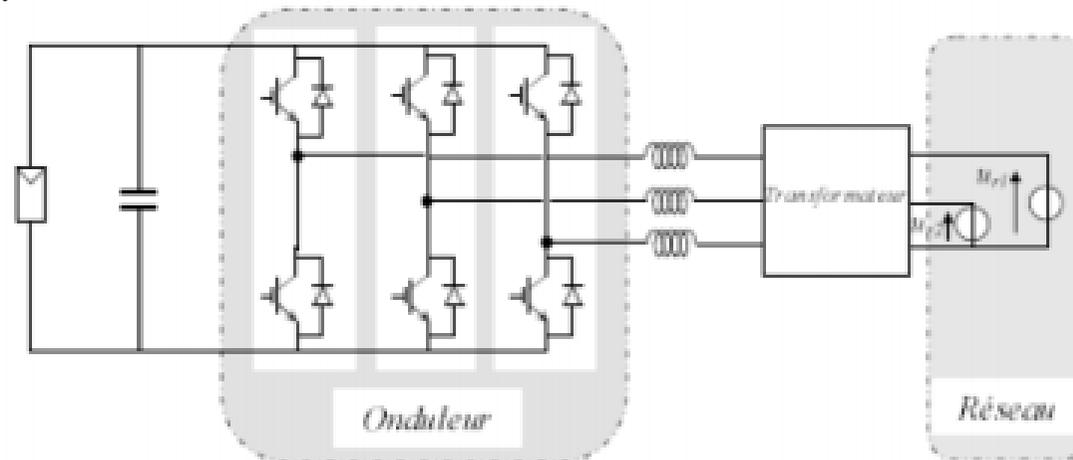
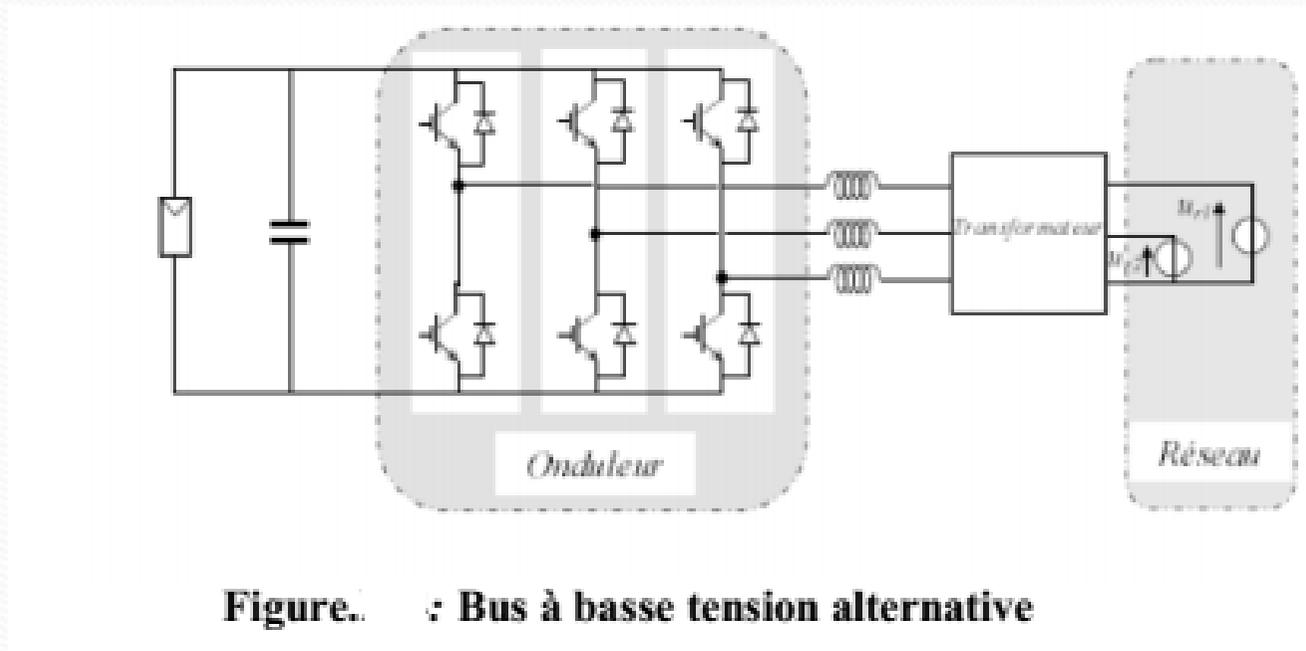


Figure. : Bus à basse tension alternative

- Le faible niveau de tension dans le bus est l'avantage majeur de ce type de montage, puisqu'il assure
- la sécurité des personnels. Cependant, la distance entre le transformateur et le module doit être faible



**Figure. : Bus à basse tension alternative**

# Systeme à bus continu intermédiaire

## 1. Structure avec convertisseur forward

La figure présente un convertisseur **forward** qui est capable d'augmenter la tension en série du module photovoltaïque jusqu'à 350 V (tension désirée). L'utilisation d'un transformateur pour la connexion au réseau n'est donc pas nécessaire, la conversion continu-alternative se fait de façon relativement simple, grâce à un onduleur centralisé.

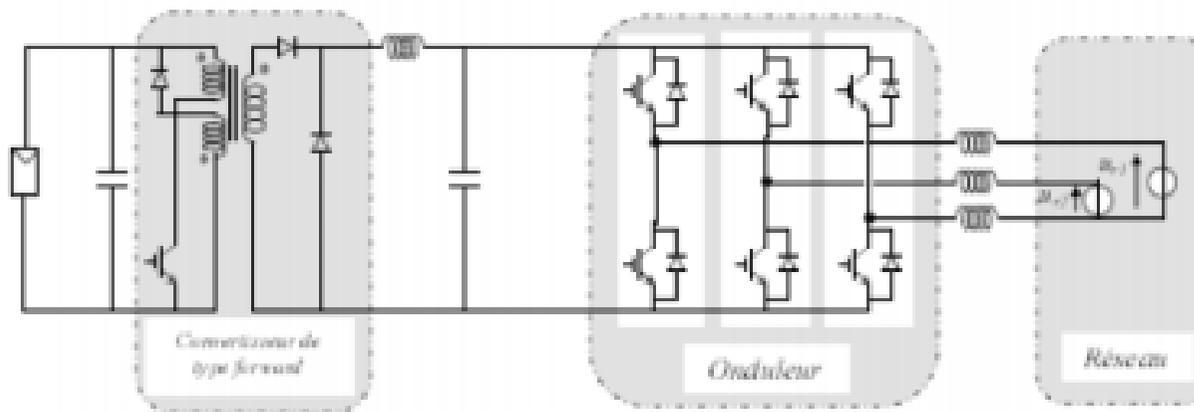


Figure. : Convertisseur de type forward alimentant le bus continu



## 2. Structure avec convertisseur de type fly-back

- La figure montre une structure à base d'un convertisseur de type fly-back qui élève la tension sortie du module photovoltaïque au niveau de tension désirée. La caractéristique principale du flyback se situe au niveau du transformateur qui agit comme l'inducteur principal et qui assure l'isolation galvanique. Le hacheur est contrôlé pour obtenir un maximum d'énergie du module photovoltaïque et l'onduleur assure une tension constante et le transfert de puissance vers le réseau.

L'inconvénient du transformateur est qu'il génère des pertes et qui augmente le coût de l'installation.

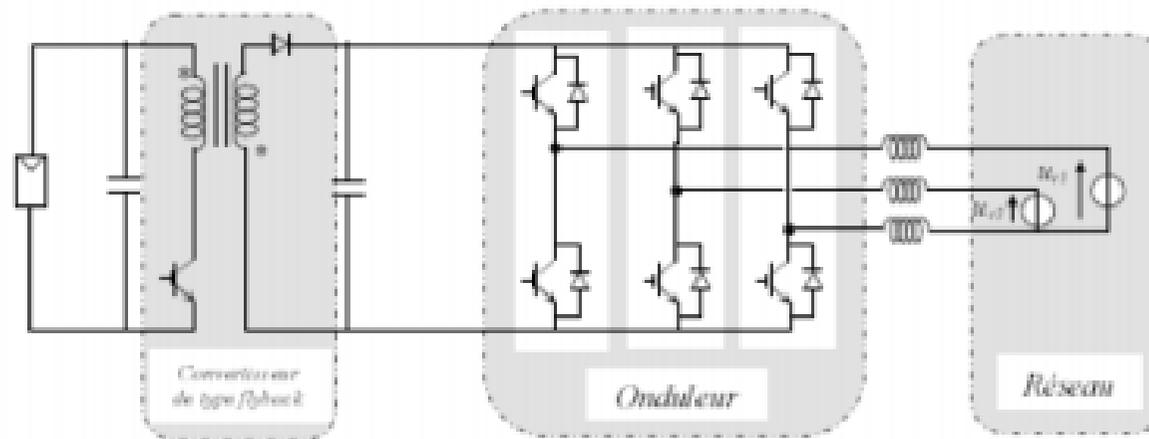


Figure. : Structure avec convertisseur de type fly-back

# 3. Structure avec hacheur et onduleur

La figure représente un hacheur qui élève la tension en sortie du module photovoltaïque en une tension de (100 V) délivrée sur le bus continu. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension en sortie des modules plus de 4 à 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On ajoute un onduleur pour avoir une sortie sinusoïdale, puis un transformateur pour élever cette tension au niveau désiré (selon le réseau) et pour assurer l'isolation entre la partie " production " et la partie " utilisation ". L'avantage de ce système est que des batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome. Le courant d'entrée est relativement lisse, c'est pour cela que la capacité peut être faible .

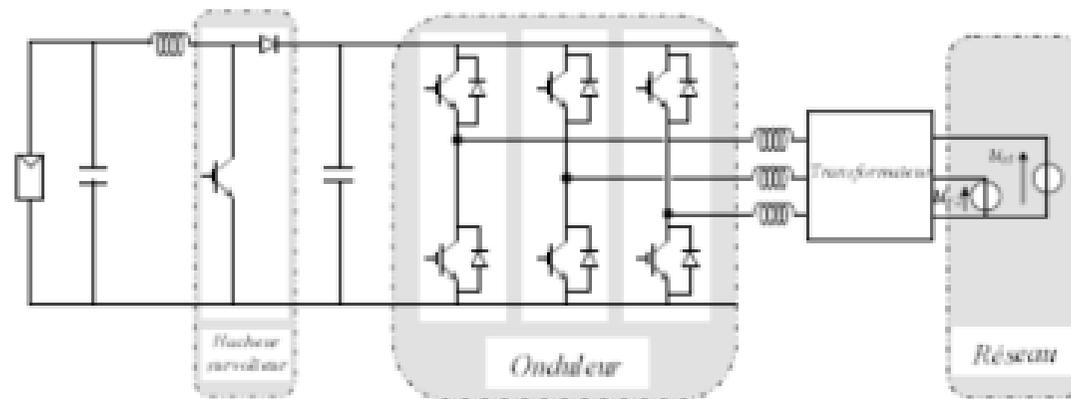
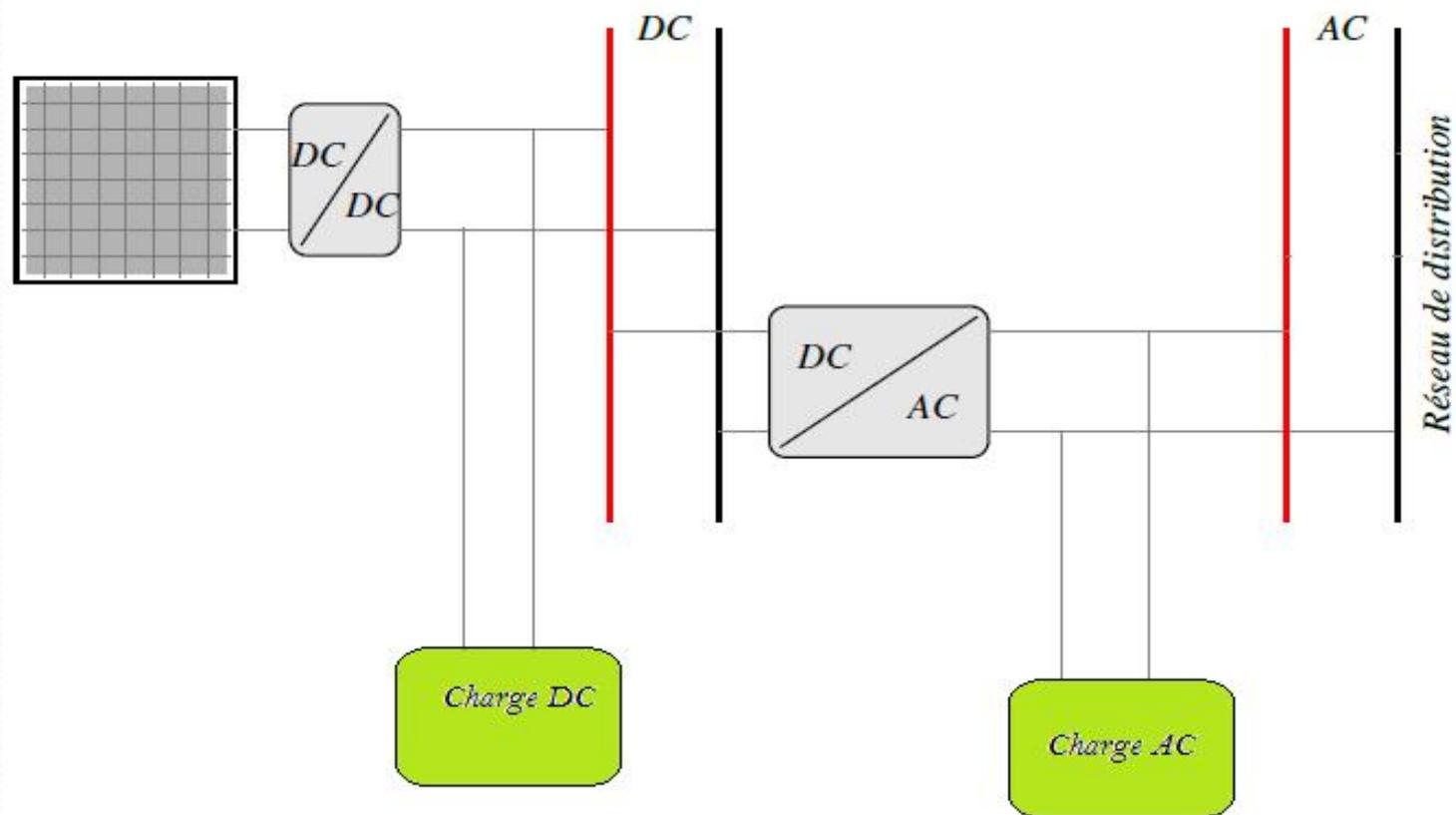


Figure. : Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé

# Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie de stockage

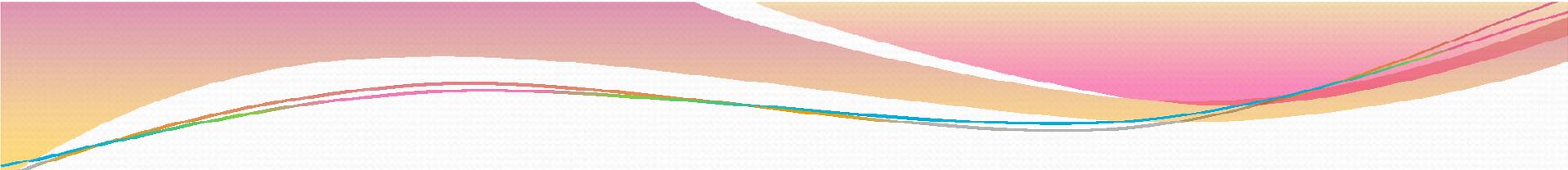




Ces systèmes sont ainsi conçus pour fonctionner en parallèle et en interconnexion avec le réseau public d'électricité (figure ).

Le principal de l'onduleur : Il convertit la puissance continue (*DC*) obtenue à partir des modules *PV* en puissance alternative

- en respectant les conditions de qualité de la tension et de la puissance exigées par le réseau
- une possibilité d'arrêt automatique quand le réseau n'est pas en fonctionnement.

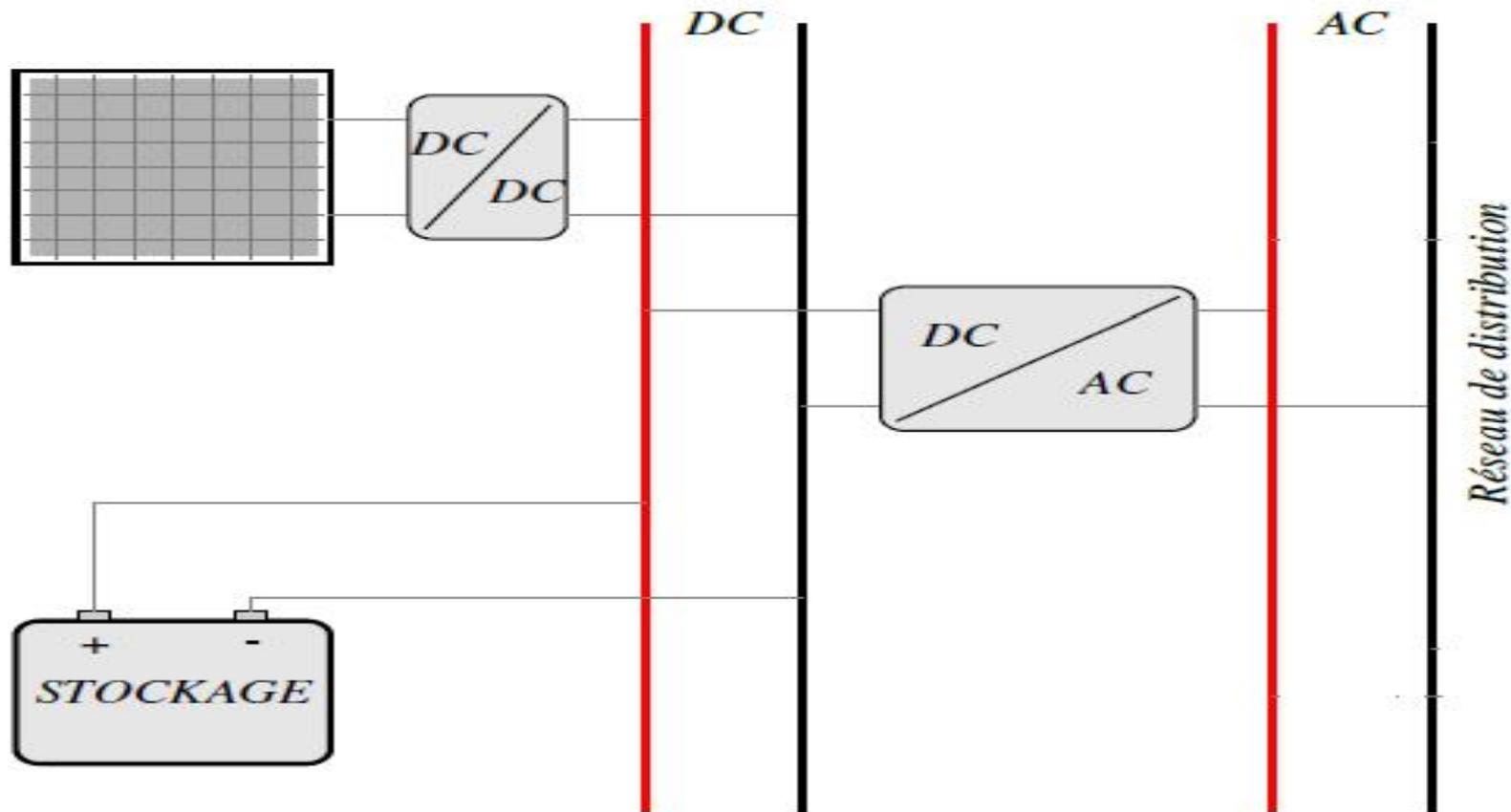


Une interface bidirectionnelle est placée entre la sortie alternative du système *PV* et le réseau soit en alimentant directement toutes les charges électriques soit en injectant le surplus d'électricité (*PV*) dans le réseau .

La nuit ou par faible ensoleillement durant les périodes où les besoins des consommateurs sont supérieurs à la production (*PV*), le réseau fournit l'appoint nécessaire, l'équilibre énergétique peut être ainsi obtenue. Lorsque le réseau est à l'arrêt, le système (*PV*) est automatiquement coupé et déconnecté du réseau à partir du panneau de distribution. Ce facteur de sécurité supplémentaire est exigé pour s'assurer que la centrale (*PV*) est coupée du réseau lorsque celui-ci est hors service pour raison de maintenance ou autre (cette fonction est appelée îlotage ou islanding) .

La maintenance des (*CPCR*) fonctionnant sans batterie, est particulièrement facile : Elle se résume a la vérification de l'état de propreté des modules (*PV*)

## Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie





Ce type de système est utilisé généralement lorsqu'une puissance supplémentaire est nécessaire pour alimenter des charges critiques telles que la réfrigération, les pompes à eau, l'éclairage ou autres (Figure ). Dans des circonstances normales, le système fonctionne en mode relié au réseau en alimentant toutes les charges ou en renvoyant la puissance en surplus sur le réseau tout en maintenant la batterie en pleine charge.