

MAÎTRISER LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

RACCORDÉ AU RÉSEAU

GUIDE PRATIQUE DE LA CONCEPTION À LA MISE EN SERVICE



LAHLOU OMAR

FA[⚡]TRI

INTRODUCTION

Le système "On-Grid" fonctionne en synchronisation permanente avec le réseau public. Par sécurité, l'onduleur se coupe instantanément en cas de panne secteur. Son fonctionnement repose sur la priorité solaire : l'électricité produite est consommée en premier par vos appareils, le réseau ne venant qu'en appoint (la nuit ou par mauvais temps).

Son fonctionnement dépend de la stratégie choisie. Il existe trois configurations principales :

- L'Autoconsommation avec Surplus : Priorité à vos appareils. Seul l'excédent non consommé est injecté sur le réseau.
- L'Injection Totale : L'intégralité de la production est envoyée directement sur le réseau via un compteur dédié (modèle de vente pure).
- Le Zéro Export (Anti-Injection) : Un Smart Meter bride l'onduleur en temps réel pour ajuster la production à la consommation, garantissant qu'aucune énergie ne soit renvoyée vers le réseau public.

CHAPITRE 1

Une installation fiable et durable repose sur le choix cohérent de trois organes vitaux.

Voici ce qu'un installateur professionnel doit savoir.

I. Le Générateur Photovoltaïque (Les Panneaux)

C'est le moteur de l'installation. Il transforme l'irradiance solaire (W/m^2) en courant continu (DC).

A. Monocristallin vs Polycristallin : Le duel technologique

Même si le Monocristallin domine le marché actuel, le "Poly" a encore son mot à dire dans certaines régions.

Caractéristique	Monocristallin (Full Black / Standard)	Polycristallin (Bleuté)
Apparence	Cellules noires uniformes.	Aspect "mosaïque" bleu pailleté.
Rendement	Élevé (19% à 22%+).	Moyen (15% à 17%).
Comportement Chaud	Perd un peu plus de rendement.	Plus stable à haute température.

B. Décrypter la "Datasheet" (Fiche Technique)

Ne regardez pas uniquement la puissance (ex: 550 Wc). Trois autres valeurs sont critiques pour ne pas griller l'onduleur :

1. Voc (Tension en Circuit Ouvert) : La tension du panneau "à vide" (sans charge). C'est la valeur maximale absolue. Attention : elle augmente quand il fait froid !
2. Isc (Courant de Court-Circuit) : L'intensité max en cas de défaut.
3. NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) : La température réelle de la cellule en fonctionnement normal.

**** L'Astuce de l'Expert : Le calcul de température**

Utilisez la formule du NOCT pour estimer la température réelle de la cellule :

$$\text{TCELL} = \text{TAIR} + (\text{NOCT} - 20) \times (\text{ENSOLEILEMENT} / 800)$$

Exemple : S'il fait 35°C dehors, la cellule peut monter à 65°C, ce qui fait chuter la tension !

II. L'Onduleur (Le Cerveau)

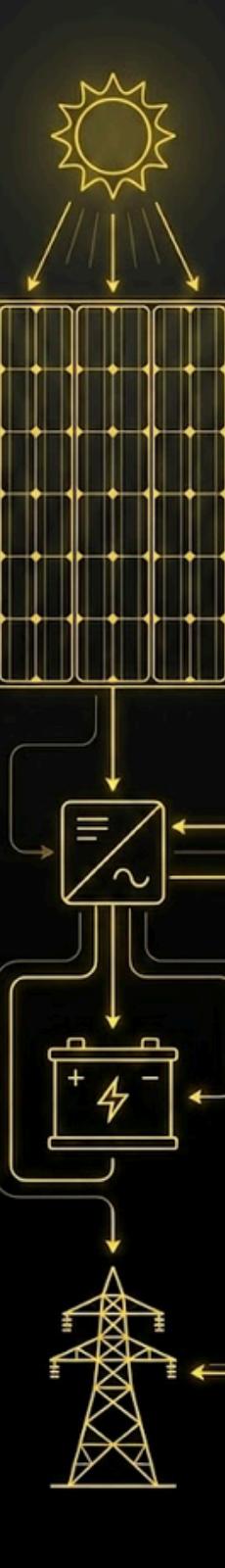
Il convertit le DC en AC (230V mono ou 400V triphasé) et se synchronise à la fréquence du réseau (50Hz).

A. La fonction MPPT (Maximum Power Point Tracking) Imaginez l'onduleur comme une boîte de vitesses automatique. Le MPPT est un tracker électronique qui scanne en permanence la tension et le courant pour trouver le point de puissance maximale (Pmax).

- Point de vigilance : Si la tension de votre chaîne de panneaux est inférieure à la plage de tension MPPT (tout en restant supérieure à la tension de démarrage), l'onduleur fonctionnera mais en mode dégradé. Il ne pourra pas atteindre le point de puissance maximale, ce qui entraînera une perte de production significative (système bridé).

B. Onduleur de Chaîne vs Micro-Onduleurs

- Onduleur Central (String) : Un seul boîtier. Moins cher, maintenance facile. Mais si un panneau est à l'ombre, toute la chaîne est impactée.
- Micro-Onduleurs : Un petit boîtier sous chaque panneau. Idéal pour les toitures complexes avec ombrages (cheminées, arbres). Gestion indépendante de chaque module.



CHAPITRE 2

I. Étape 1 : L'Audit et l'Analyse des Besoins

Avant de poser le moindre panneau, il faut comprendre le besoin.

- Collecte des données : Récupérez les factures d'électricité des 12 derniers mois.
- Le Profil de Consommation : Consommation diurne (jour) vs nocturne (nuit) et pics de puissance.
- Analyse du Site : Coordonnées GPS, Masques solaires (ombres portées).

II. Étape 2 : Le Calcul de la Puissance Crête

C'est la formule centrale de votre dimensionnement pour déterminer la production attendue.

Formule : $E = S \times r \times H \times PR$

- E : L'énergie produite (kWh).
- S : La surface du champ PV (m^2).
- r : Le rendement du module
- H : L'irradiation sur le plan incliné (kWh/m^2).
- PR (Performance Ratio) : Indice de performance (généralement entre 0.75 et 0.85).

IV. Étape 4 : Le Choix et le Dimensionnement de l'Onduleur

1. Le Ratio de Puissance (AC/DC)

La puissance nominale de l'onduleur doit être comprise entre 80% et 110% de la puissance crête des panneaux.

2. La Compatibilité en Tension (Le point critique !)

L'onduleur a une plage de fonctionnement stricte. Il faut vérifier les tensions extrêmes en tenant compte de la température.

- A. La Tension Max à Froid (-10°C) : Risque de destruction
- Quand il fait froid, la tension monte. Elle ne doit JAMAIS dépasser le V_{max} de l'onduleur.

$$U_{max(-10^\circ C)} = M \times [V_{oc} + (V_{oc} \times \mu_{Voc} \times (T_{min} - 25))]$$

- B. La Tension Min à Chaud (+70°C) : Risque de décrochage
- Quand il fait chaud, la tension chute. Elle doit rester supérieure au V_{min} du MPPT.

$$V_{min(+70^\circ C)} = N \times [V_{mpp} + \mu_{Voc} \times V_{mpp} \times (T_{max} - 25)]$$

3. La compatibilité courant

- Limite Absolue (I_{sc}) : Le courant de court-circuit des chaînes ne doit jamais dépasser le max admissible de l'onduleur (Perte immédiate de garantie).
- Limite de Travail (I_{mpp}) : Si le courant des panneaux dépasse la capacité de traitement de l'onduleur, celui-ci bridera la production.

CHAPITRE 3



Dans le solaire, une installation mal dimensionnée fonctionne mal, mais une installation mal câblée ou mal protégée est un danger mortel. Nous allons procéder dans l'ordre logique : d'abord choisir les bons câbles, puis les protéger.

I. Le Dimensionnement des Câbles (L'étape n°1)

Le choix d'un câble solaire ne se fait pas au hasard. Il doit valider deux critères impératifs :

1. Le Courant Admissible (I_z) : Pour ne pas fondre (Sécurité).
2. La Chute de Tension (ΔU) : Pour ne pas perdre de production (Rentabilité).

Le Courant Admissible (I_z) : "Ne pas brûler"
C'est l'intensité maximale que le câble peut supporter en permanence sans échauffement dangereux.

Note importante : Un câble exposé à 60°C sur un toit transporte moins de courant qu'un câble enterré au frais !

Calcul de la Section DC (Panneaux --> Onduleur)

Le but est de limiter la perte à moins de 2%.

Utilisez du câble solaire spécifique (double isolation, résistant UV).

$$S_{dc} = \frac{\rho \times 2 \times L \times I}{\varepsilon \times U_{mpp}}$$

- S : Section du câble (\$mm^2\$).
- rho : Résistivité du cuivre (0.018 à 20°C).
- L : Longueur simple (m). On multiplie par 2 pour l'aller-retour.
- I : Courant max de la chaîne (A).
- U : Tension de la chaîne V_{mpp} (V).

Calcul de la Section AC

Si l'onduleur est loin du tableau général, une section trop faible provoquera une hausse de tension côté onduleur, qui risque de se mettre en sécurité.

- Objectif : Chute de tension max 2%.

$$S = b \times I_b \times \left(\frac{\rho \times L \times \cos(\varphi)}{\varepsilon \times V_n} + \gamma \times L \times \sin(\varphi) \right)$$

- ε : Chute de tension(V)
- γ : réactance linéique des conducteurs (0,08 mΩ/m)
- V_n : Tension nominale AC
- b: Coefficient qui vaut 1en triphasé et 2en monophasé

- ρ_1 : Résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) en service normal, soit 1.25 fois la résistivité à 20°C ($\rho_1=0.0225 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre et $\rho_1 = 0.036 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium)
- L: Longueur de la canalisation (m)
- S: Section des conducteur(mm^2)
- $\cos(\varphi)$: facteur de puissance (φ est le déphasage entre le courant et la tension); cette donnée est inscrite sur la fiche technique des onduleurs.
- I_B : Courant maximal d'emploi
-

II. La Protection Côté DC (Les Panneaux)

1. Interrupteur Sectionneur DC

- Rôle : Couper physiquement les panneaux de l'onduleur pour maintenance.
- Exigence : Il doit couper "en charge". Souvent intégré à l'onduleur, un IS externe est recommandé.

2. Les Fusibles gPV (La règle des 3 strings)

- Règle : Obligatoires si et seulement si vous avez 3 chaînes ou plus en parallèle.
- Pourquoi ? Pour empêcher que le courant de 2 chaînes saines ne revienne détruire une 3ème chaîne défaillante.
- Dimensionnement : Calibre > $1.4 * I_{\{sc\}}$.

3. Le Parafoudre DC

- Rôle : Protège l'onduleur des surtensions (foudre).
- Type : Type 2 (standard) ou Type 1+2 (si paratonnerre présent).

III. La Protection Côté AC (Le Réseau)

1. Le Disjoncteur Magnéto-Thermique

- Il protège le câble AC contre les surcharges.
- Calibre : Légèrement supérieur au courant max onduleur

2. L'Interrupteur Différentiel (DDR)

- Il protège les personnes.
- Attention : Utilisez impérativement un modèle à Immunité Renforcée (Type HPI, Si, ou F). Un type AC standard sautera sans raison à cause des parasites de l'onduleur. Calibre 30mA pour le résidentiel.

IV. Règles de Pose et Mise à la Terre

1. La Boucle d'Induction (Le piège à foudre)

- Si le câble (+) et le câble (-) sont éloignés, ils forment une boucle qui agit comme une antenne.
- La Règle : Les câbles (+) et (-) doivent toujours cheminer côté à côté (attachés ensemble avec des colliers).

2. Mise à la Terre (Équipotentialité)

- Tous les cadres des modules et les rails doivent être interconnectés.
- Section : 6mm² minimum (Cuivre).
- Continuité : Utilisez des griffes spécifiques (type Terragrif) pour mordre l'aluminium anodisé des cadres.

CONCLUSION

Maîtriser ces règles théoriques est indispensable, mais dans un marché compétitif, l'installateur doit aussi être rapide et efficace.

L'Ère des Logiciels : Votre Boîte à Outils 2.0

Le calcul manuel valide votre expertise, mais les logiciels valident votre productivité. Voici le panorama des outils essentiels :

1. La Solution Nouvelle Génération : SolAI (www.solaipv.com)

C'est l'outil qui révolutionne le quotidien des installateurs grâce à l'Intelligence Artificielle.

2. Les Références "Bureau d'Études" (PVSYST, PVSOL, Archelios)

- PVSYST : La référence mondiale académique pour les projets "bancables" (grandes centrales).
- PVSOL Premium : Très apprécié pour ses simulations d'ombrages en 3D détaillée.
- Archelios : Excellent pour le dimensionnement réglementaire et le calcul de productible précis.



BESOIN D'AIDE OU D'INFORMATION ?

🌐 www.fastri.org

✉️ omar@fastri.org

