



Connecting a PV Solar System to the Electrical Grid : Grid-Tied Photovoltaic (PV) Systems



Pati RAKOTONIAINA, Ph.D

I. Introduction

II. Key Components

III. System connection diagram

IV. Calculating Power/energy exported to the grid

V. Regulations, ex: France

VI. Case: Madagascar

VII. Monitoring, optimization

VIII. Conclusion

BIOGRAPHIE



Docteur en
Physique des semi-
conducteurs

Responsable des
Projets
internationaux au
CEA INES

Enseignant à
l'INSTN de
Madagascar, UE PV

Secrétaire Général
et co-fondateur de
FianaraLab

Membre de OMAD
DE

> 50 publications
scientifiques

12 Brevets
internationaux

GEN Solaire

[Assessment of Soiling Dynamics and Cleaning Efficiency for Photovoltaic Modules Under Different Dust Environments](#)

JIA Tsanakas, JP Rakotoniaina, J Montoya... - Solar ... 2025 - Wiley Online Library

Laboratory protocols that predictively reproduce site-specific soiling dynamics are required to accelerate prefield screening of photovoltaic (PV) materials, coatings, and cleaning ...

☆ Enregistrer Citer Autres articles Les 2 versions

[Harsh sequential stress tests for improved PV durability](#)

JP Rakotoniaina, R Couderc... - 2022 IEEE 49th ... 2022 - ieeexplore.ieee.org

Accelerated aging is required to verify within a few months whether photovoltaic modules are capable of withstanding outdoor conditions for a minimum of 25 years. The IEC 61215 ...

☆ Enregistrer Citer Cité 2 fois Autres articles

[PDF] wiley.com



Introduction

- What is a grid-tied PV system?
 - Solar panels generate electricity from sunlight
 - Excess electricity is sent to the utility grid
 - Home draws power from the grid when PV output is insufficient
- Benefits:
 - Reduce electricity bills
 - Renewable energy contribution
 - Net metering opportunities



Key Components

- PV Panels: Convert sunlight to DC electricity.
- Inverter (Grid-Tied): Converts DC to AC.
- Utility Meter / Net Metering: Measures energy exported/imported
- Disconnect Switch / Protection Devices: Safety and maintenance
- Wiring & Circuit Protection: Fuses, breakers, grounding



System Connection Diagram

PV to Grid: Connecting & Calculating

1. Connecting a PV System to the Grid

★ Key Components:



Grid-Tied System



— Feeds Home First, Excess Power Sent to Grid —

2. Calculating Energy Exported to the Grid

Power Calculation:

Power Sent to Grid:

$$P_{grid} = P_{PV} - P_{load}$$

*If $P_{PV} > P_{load}$, Excess Goes to Grid.

Energy Calculation:

Energy Exported to Grid:

$$E_{grid} = \sum (P_{grid} \times \Delta t)$$

$$E_{grid} \text{ (kWh)} = \sum (P_{grid} \text{ (kW)} \times \Delta t \text{ (h)})$$

Example: $2 \text{ kW} \times 3 \text{ h} = 6 \text{ kWh}$

Monitoring:



Smart Inverter



Energy Meter



Track Production & Export

A grid-tied PV system allows your solar panels to supply electricity directly to your home and send excess electricity back to the grid

- **During the day:** Solar panels power your home first; excess goes to the grid
- **At night:** Home draws from the grid as usual

Safety & Regulations

- Grid-tied inverters must have **anti-islanding protection** (shuts off if grid goes down)
- Follow **local electrical codes** and **utility rules**
- Usually requires **permit and inspection**

2 Calculating Power / Energy Exported to the Grid

Energy exported depends on how much your PV system produces versus your home consumption.

Step 1: Instantaneous Power

The power from PV panels is:

$$P_{PV} = V_{DC} \times I_{DC} \times \eta_{inverter}$$

Where:

- V_{DC}, I_{DC} = DC voltage and current from PV panels
- $\eta_{inverter}$ = inverter efficiency (typically 95–98%)

The **power sent to the grid** at any moment is:

$$P_{grid} = P_{PV} - P_{load}$$

Where P_{load} = power used by your home.

- If $P_{PV} > P_{load}$, excess goes to the grid.
- If $P_{PV} < P_{load}$, you draw from the grid.

Step 2: Energy Over Time

Energy exported is calculated by integrating power over time:

$$E_{\text{grid}} = \int_0^T P_{\text{grid}}(t) dt$$

Or for practical purposes:

$$E_{\text{grid (kWh)}} = \sum (P_{\text{grid}}[\text{kW}] \times \Delta t[\text{h}])$$

- Example: If you export **2 kW** for **3 hours**, energy exported = $2 \times 3 = 6$ kWh.
-


Step 3: Using Real Data

1. Use a **smart inverter or energy meter** to track PV production and grid export.
2. Most modern systems provide **hourly, daily, monthly** data for energy exported.

System Assumptions

- PV system: 5 kW peak capacity
- Inverter efficiency: 95%
- Home load varies during the day
- Time interval: 1 hour

Step 1: PV Output (kW)

Hour	PV Output (kW)	
6 AM	0.0	
7 AM	0.5	
8 AM	1.5	
9 AM	3.0	
10 AM	4.0	
11 AM	4.5	
12 PM	5.0	
1 PM	4.5	
2 PM	4.0	
3 PM	3.0	
4 PM	2.0	
5 PM	1.0	
6 PM	0.2	
7 PM	0.0	

Step 2: Home Consumption (kW)

Hour	Home Load (kW)	
6 AM	1.0	
7 AM	1.2	
8 AM	1.5	
9 AM	2.0	
10 AM	2.5	
11 AM	2.5	
12 PM	2.0	
1 PM	2.0	
2 PM	2.0	
3 PM	2.0	
4 PM	1.8	
5 PM	1.5	
6 PM	1.2	
7 PM	1.0	

Step 3: Power Exported to Grid

$$P_{\text{grid}} = P_{\text{PV}} - P_{\text{load}}$$

Hour	PV Output	Home Load	Power to Grid
6 AM	0.0	1.0	0
7 AM	0.5	1.2	0
8 AM	1.5	1.5	0
9 AM	3.0	2.0	1.0
10 AM	4.0	2.5	1.5
11 AM	4.5	2.5	2.0
12 PM	5.0	2.0	3.0
1 PM	4.5	2.0	2.5
2 PM	4.0	2.0	2.0
3 PM	3.0	2.0	1.0
4 PM	2.0	1.8	0.2
5 PM	1.0	1.5	0
6 PM	0.2	1.2	0
7 PM	0.0	1.0	0

Note: Negative values mean the home is drawing from the grid; we set them to 0 for export calculation.

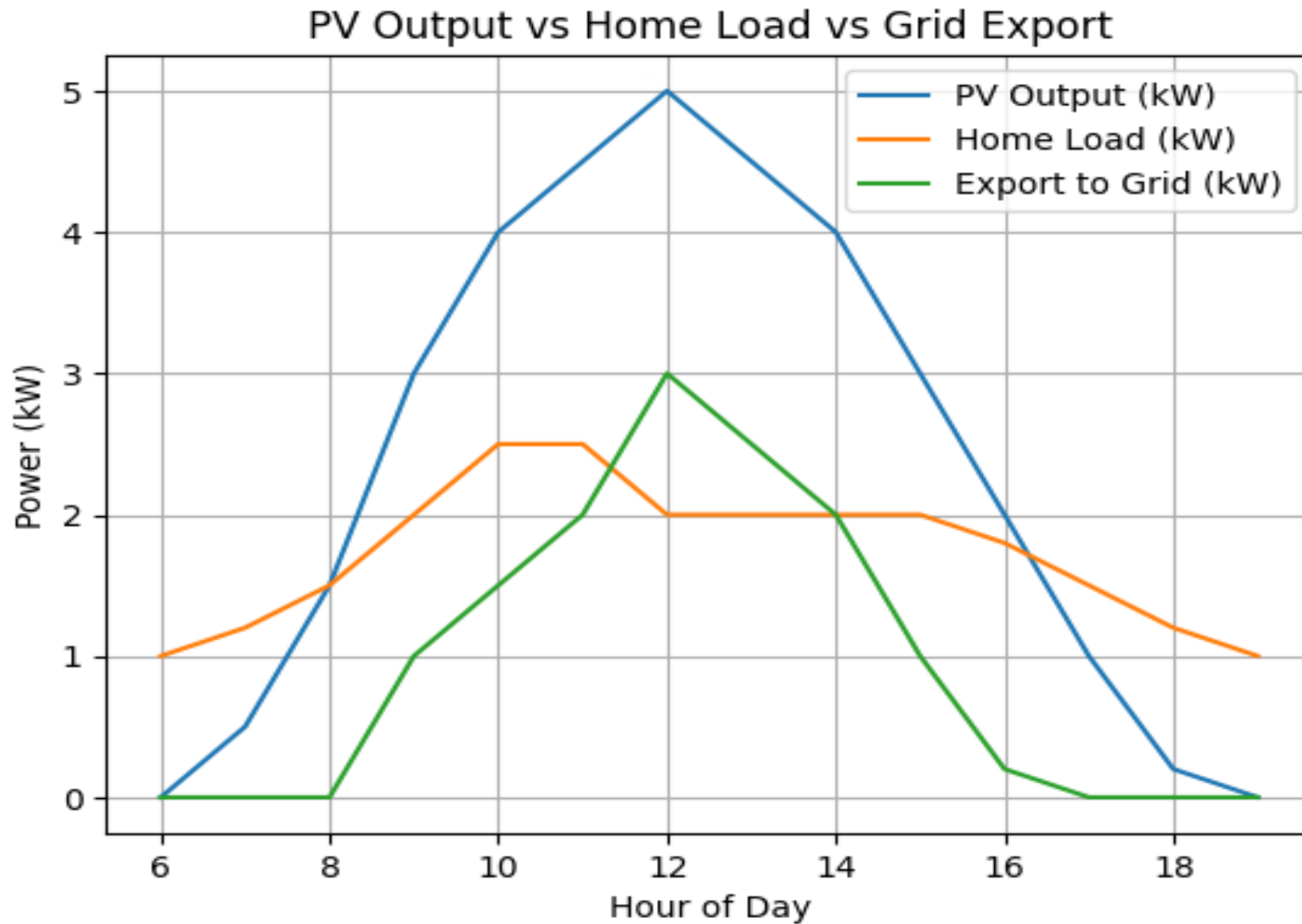
Step 4: Energy Exported (kWh)

Sum of Power × 1 hour for each hour:

$$E_{\text{grid}} = 1 + 1.5 + 2 + 3 + 2.5 + 2 + 1 + 0.2 = 13.2 \text{ kWh}$$

✓ Total energy exported to the grid during the day: 13.2 kWh





Safety & Regulations (Cas de la France)

- Anti-islanding protection (inverter shuts off during grid outage)
- Local electrical codes & utility rules
- Permits and inspections required

Protection anti-îlotage

- Obligatoire pour toute installation raccordée réseau
- Intégrée dans l'onduleur (certifié EN 50549 / VDE-AR-N 4105)
- Coupe automatiquement l'injection en cas de coupure réseau

Cadre réglementaire français

- Conformité **NF C 15-100 (version 2024 obligatoire)**
- Application **UTE C 15-712-1 (installations PV raccordées)**
- Respect des exigences du gestionnaire de réseau (Enedis en général)

Autorisations obligatoires Urbanisme

- Déclaration préalable en mairie (souvent requise)
- Permis de construire si cas particulier

Raccordement réseau

- Demande de raccordement Enedis
- Convention d'autoconsommation ou contrat OA si vente
- Attestation CONSUEL avant mise en service

Inspection & mise en service

- Installation réalisée
- Contrôle CONSUEL
- Validation Enedis
- Mise sous tension officielle



Maintenance

- La maintenance d'un système photovoltaïque raccordé au réseau consiste principalement à garantir la performance, la sécurité et la conformité de l'installation dans le temps
- Elle inclut le nettoyage périodique des modules si nécessaire, la vérification visuelle des câblages et connectiques, le contrôle des dispositifs de protection (disjoncteurs, sectionneurs, parafoudres), ainsi que la surveillance des performances via l'onduleur ou le système de monitoring afin de détecter toute baisse anormale de production
- L'onduleur, composant le plus sollicité, doit faire l'objet d'une attention particulière
- Une maintenance régulière permet d'optimiser le rendement, de prévenir les risques électriques et de prolonger la durée de vie de l'installation



Monitoring & Optimization



- Use smart inverter or energy meter
- Track hourly, daily, and monthly export
- Optimize usage to maximize net-metering benefits

Cas de Madagascar



I. RÉSUMÉ DE LA PROCÉDURE À SUIVRE POUR DÉVELOPPER UN PROJET EN ÉNERGIES RENOUVELABLES

ÉTAPE 0	ÉTAPE 1	ÉTAPE 2
<p>Entités concernées : MEH/ADER/ORE/MEF</p> <p>INFORMATION AVANT CRÉATION D'UNE SOCIÉTÉ PORTEUSE DE PROJET (SPP)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planification - Dispositions et avantages sur le plan fiscal applicables aux opérateurs du secteur énergie renouvelable - (Cf Tableau 1 et Cf Tableau 2) - Dispositions et avantages sur le plan douanier du secteur énergie renouvelable 	<p>Entité concernée: EDBM</p> <p>CRÉATION D'UNE SOCIÉTÉ PORTEUSE DE PROJET (SPP)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Procédure de création (Cf Tableau 3) - Frais payables (Cf Tableau 4) - Pièces à fournir (Cf Tableau 4) - Délai de document délivrés - Département concernés - Les liens pour obtenir le formulaire et pour la création de société en ligne sont les suivants : <p>https://edbm.mg/wp-content/uploads/2022/06/V21_CreationMAJ2022.pdf</p> <p>https://orinasa.edbm.mg</p>	<p>Entité concernée:MEH/ADER/ORE/ONE</p> <p>AVANT-PROJET SOMMAIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avant-projet sommaire (APS) avec des études environnementales préliminaires

ÉTAPE 3	ÉTAPE 4	ÉTAPE 5
<p>Entités concernées : MEH/JIRAMA/ ADER/ORE/CTD et autres Ministères/ opérateurs privés</p> <p>PROCÉDURES DE PASSATION DE MARCHÉ : APPEL D'OFFRES/APPEL À PROJET OU CANDIDATURES SPONTANÉES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Initiative Publique <ul style="list-style-type: none"> - Appel d'Offre (AO) - Appel à Projet (AP) - Appel à Candidature (AC) <p>Selon les cas, il se peut que l'appel puisse se faire en deux étapes : AMI et invitation à soumissionner selon un dossier préétabli</p> <ul style="list-style-type: none"> - Initiative privée : Candidature spontanée (CS) <ul style="list-style-type: none"> - Dépôt dossier de demande - Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI), - Autorisation études 	<p>Entités concernées : MEH/MEF/ONE</p> <p>AVANT-PROJET DÉTAILLÉ (APD)</p> <p>Études techniques</p> <p>Études financières</p> <p>Études environnementales et sociales</p> <p>Listing matériel</p> <p>Consultation du guide de procédures douanières Procédures d'importation</p>	<p>Entités concernées : MEH/ONE</p> <p>ÉTUDES D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permis Environnemental délivré par l'ONE (Cf Tableau 8 et 9) - Autorisation environnementale délivrée par le Ministère en charge de l'Énergie - Plan de Gestion Environnementale et Sociale

ÉTAPE 6	ÉTAPE 7	ÉTAPE 8
<p>Entités concernées : MEH/ADER/CTD/MATSF</p> <p>SÉCURISATION FONCIÈRE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Délibération communale - Procédures de Déclaration d'Utilité Publique - PAR : Plan d'Action de relocalisation des PAPs (Personnes Affectées par le Projet) 	<p>Entités concernées : MEH/ORE/ADER/OPÉRATEURS PRIVÉS/JIRAMA</p> <p>CONTRACTUALISATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrat d'exploitation - Contrat de raccordement au réseau - Contrat d'achat d'énergie (s'il y a une injection de la production au réseau public) - Contrat d'autorisation ou Contrat de concession selon la puissance à installer - Contrat de distribution Instruction <p>(Cf Tableau 10 et Cf Tableau 11)</p>	<p>Entités concernées : MEH/MEF/MID/ADER</p> <p>Procédure d'octroi de l'exonération des droits et taxes à l'importation au profit des CTD/ classement tarifaire et dédouanement des éléments distincts formant une unité fonctionnelle/ procédure de dédouanement à l'import (maritime)/ procédure de la soumission AD-TEF pour prise en charge des droits et taxes à l'importation(Cf Tableau 12-13 -14 -15 -16 -17 -18 -19)</p> <p>(Achat local, Achat import, Travaux de construction, Suivi avant, durant et après travaux)</p>

ÉTAPE 9	ÉTAPE 10	ÉTAPE 11
<p>Entités concernées : MEH/ADER/MEF</p> <p>PHASE DE CONSTRUCTION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Phase de construction proprement dite - Suivi et contrôles (Cf Tableau 20) - Procédure de contrôle douanier (Cf Tableau 21) 	<p>Entités concernées : MEH/ADER/ORE</p> <p>FIN DE TRAVAUX</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réception technique (MEH/ADER) - Contrôle de conformité (MEH/ORE) - Attestation de conformité (MEH) 	<p>Entités concernées : MEH/ADER/ORE</p> <p>PHASE D'EXPLOITATION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôles et Suivi - Surveillance Administrative

ÉTAPE 12
<p>Entités concernées : MEH /ORE/ADER</p> <p>PHASE DE FIN DE CONTRAT</p> <ul style="list-style-type: none"> - MEH /ORE : procédure de fin de contrat (notification de l'opérateur deux ans avant échéance du contrat sur la continuité ou non du contrat) - MEH : inventaire matériel

https://meh.mg/wp-content/uploads/2024/03/Guide_Energie_2023.pdf

Limites

- Manque de transparence sur les démarches
- Problème de décentralisation
- ...



Selon vous :
« Quelles
solutions ? »



Summary



- Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau permettent de produire une énergie renouvelable, de réduire la facture d'électricité et de bénéficier des mécanismes de compensation (type autoconsommation avec injection ou net-metering selon le cadre)
- Un raccordement conforme nécessite : un onduleur adapté au réseau, un compteur bidirectionnel, des dispositifs de protection (DC/AC, anti-îlotage, sectionneurs), et les autorisations réglementaires requises
- L'énergie injectée sur le réseau dépend directement de l'équilibre entre la production PV et la consommation du logement : plus la consommation instantanée est faible par rapport à la production, plus le surplus exporté est important
- **Enfin, le monitoring (suivi des données) permet d'optimiser les usages, d'augmenter le taux d'autoconsommation et de maximiser les bénéfices économiques**

Misaotra Betsaka !

