

Production d'électricité Le Solaire Photovoltaïque Autonome



Site isolé

Université de Lille 1 - Licence ER2E - 2017



Ludovic SENECHAL

Bureau d'Etudes – COHERENCE ENERGIES



PREAMBULE :

NOTIONS COMMUNES PV RESEAU ET PV AUTONOME

Certains éléments abordés dans le cours sur le solaire photovoltaïque (raccordé réseau) restent valables pour le photovoltaïque en site autonome et ne seront pas traités lors de cette intervention :

- Phénomène photovoltaïque,
- Type de cellules,
- Constitution modules,
- Impact des conditions climatiques (température...)
- Ombrages,

D'autres notions spécifiques nécessitent une approche différente ou complémentaire. Ce sont ces éléments qui seront vu ci-après.

Photovoltaïque Autonome – Site isolé

1. Introduction
2. Systèmes autonomes — exemples
 - Habitats isolés
 - Besoins professionnels,
3. Composants, critères de choix
 - Panneaux photovoltaïques
 - Batteries
 - Régulateurs - Onduleurs
 - Récepteurs - Générateurs auxiliaires
4. Dimensionnement d'une installation autonome

1 - PV AUTONOME - INTRODUCTION

Système autonome de production d'électricité :

- consommation modérée, maîtrisée et adaptée à la production solaire;
- puissance de quelques centaines de Wc à quelques kWc ;
- inadapté à l'alimentation de moteurs (appel de puissance) ou appareils chauffés par l'électricité (énergivore) ;
- plage de tension : 12 V (<250 Wc), 24 V (>250 Wc) et 48V (>1 kWc) ;
- alimentation d'appareils en continu (DC) ou en alternative (AC) (onduleur – 230 V).
- usages : électrification rurale, gîtes, stations météo, horodateurs, balises maritimes, bornes de secours autoroutières, télécommunications,

Source : Guide pratique du solaire photovoltaïque – ADEME/ETCFEM

1 - PV AUTONOME - INTRODUCTION

Les principaux avantages attribués à l'énergie photovoltaïque en zone isolée / urbaine sont notamment :

- Une très bonne fiabilité et modularité
- Une maintenance réduite (une visite par an et par installation)
- Une durée de vie importante
- Une installation simple, légère et flexible
- Une contribution au respect de l'environnement (pas d'émission de gaz à effet de serre)
- La réalisation d'économies non négligeables
- Eviter ou différer des travaux lourds de génie civil.

Source : Guide pratique du solaire photovoltaïque – ADEME/ETC/FEM

Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL



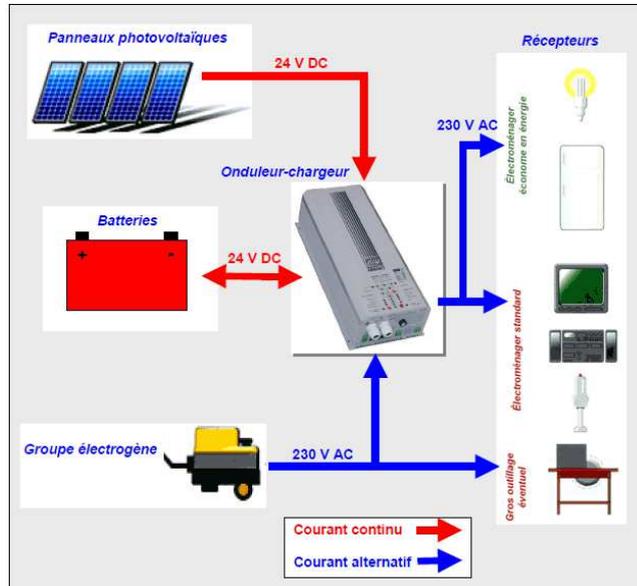
Photovoltaïque Autonome – Site isolé

1. Introduction
2. Systèmes autonomes — exemples
 - Habitats isolés
 - Besoins professionnels,
3. Composants, critères de choix
 - Panneaux photovoltaïques
 - Batteries
 - Régulateurs - Onduleurs
 - Récepteurs - Générateurs auxiliaires
4. Dimensionnement d'une installation autonome

Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL



2 - PV AUTONOME - DESCRIPTION



Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

7

2 - PV AUTONOME - DESCRIPTION

Exemples : Habitat isolé, refuges et gîtes de haute montagne



Refuge du goûter (FR) – Mont Blanc



Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

8

Exemples :

amélioration du confort, malgré un réseau électrique éloigné

Guidel (56)



- 480 Wc de solaire photovoltaïque
- 1 groupe électrogène

Source : QUENEA

Exemples : Besoins professionnels



→ Amélioration de la sécurité maritime

Exemples : Restauration des milieux aquatiques



Source : AQUAGO-TECHSUB

Le SUNGO est destiné aux plans d'eau présentant des signes d'eutrophisation (algues, mortalité de poissons, odeurs ...) qui risquent de mettre en péril la pérennité du plan d'eau et en interdisent tout usage de loisirs. Son fonctionnement permet, entre autres, d'augmenter la concentration en oxygène dissous sous dans la colonne d'eau. Cette augmentation favorise le maintien de la diversité de la faune et de la flore aquatique. La croissance d'espèces proliférantes est limitée par l'action de brassage lent, ce qui garantit l'équilibre du milieu aquatique.

Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

12

Exemples : Amélioration des conditions de vie, de travail,...



Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

13

Exemples : dans le domaine de la performance...



Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

Exemples : dans le domaine du milieu urbain
(sécurité routière, éclairage public...)

Eclairage d'un Abrisbus

La ville de Mordelles a décidé en novembre 1997 de faire appel à l'énergie photovoltaïque pour assurer l'éclairage de quatre abribus, 1 2 modules de 50 Wc assurent la production d'énergie journalière, et le temps de fonctionnement des lampes fluo-compactes est optimisé grâce à la présence d'un détecteur crépusculaire.

Ville de Mordelles

coût 2500 euro HT* (hors pose)

puissance installée 100 Wc



Photo Total Energie

LES HORODATEURS SOLAIRES

Horodateur autonome

Dotés d'un module de 10 Wc intégré et d'une petite batterie de 24 Ah, les horodateurs solaires évitent de coûteux travaux de raccordement au secteur. Ces appareils sont très bien adaptés pour une gestion efficace du stationnement. L'horodateur solaire entraîne un faible surcoût (305 euro HT/appareil) par rapport à un horodateur classique. Ce surcoût peut être rapidement effacé par l'économie réalisée sur les frais de raccordement.

coût 8000 euro HT*

puissance 10 Wc



Photo Schlumberger

AUTOMATISATION DE LA DESSERTE EN EAU

Toilettes publiques solaires

Les toilettes publiques situées sur la commune de Péage de Roussillon (58) sont équipées de deux modules photovoltaïques de 50 Wc afin d'alimenter un système d'électrovanne, deux lampes basse consommation pour de l'éclairage ainsi qu'un détecteur de présence. Equipé d'une batterie de stockage d'une centaine d'ampère heure, cette installation offre une autonomie suffisante aux WC qui sont non raccordés au réseau électrique.

Péage de Roussillon (58)

coût 2500 euro HT*

puissance installée 100 Wc



Photo Total Energie

Panneaux lumineux

Dans le but d'augmenter la vigilance et l'attention du conducteur, sur les sites à fort danger potentiel, les panneaux lumineux de signalisation routière peuvent utiliser l'énergie solaire pour leur fonctionnement. Leur faible consommation et les difficultés que peut poser un raccordement au réseau font souvent du générateur photovoltaïque la solution optimale pour leur alimentation.

coût 5300 euro HT* (coût hors pose)



Photo Apic

Photo Total Energie

Source : ADEME

Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

Les principales précautions et contraintes :

- Investissement élevé
- Attention particulière batterie/accumulateur
- Maîtrise de la consommation d'énergie
- Limite liée au dimensionnement de l'installation (nombre de modules, stockage, local technique dédié, poids...)
- Inadapté à l'alimentation de moteurs ou appareils chauffés par l'électricité
- Vol des modules possibles (surveillance de l'installation)
- Renouvellement de composants (par rapport au raccordé réseau)

Les principales évolutions à venir :

- Perfectionnement des cellules et des modules photovoltaïques,
- Progrès concernant le stockage de l'électricité, baisse des coûts (Plomb, Lithium)
- Développement d'appareils compacts combinés (rassemblement des différentes fonctions de l'installation dans un même boîtier),
- Evolution des appareils électriques : Baisse des besoins énergétiques (ex : éclairage par LED,...)

Photovoltaïque Autonome – Site isolé

1. Introduction
2. Systèmes autonomes — exemples
 - Habitats isolés
 - Besoins professionnels,
3. Composants, critères de choix
 - Panneaux photovoltaïques
 - Batteries
 - Régulateurs - Onduleurs
 - Récepteurs - Générateurs auxiliaires
4. Dimensionnement d'une installation autonome

3 - PV AUTONOME – COMPOSANTS « TYPE »



Champ photovoltaïque : panneaux solaires à base de Silicium qui transforment l'énergie lumineuse en électricité



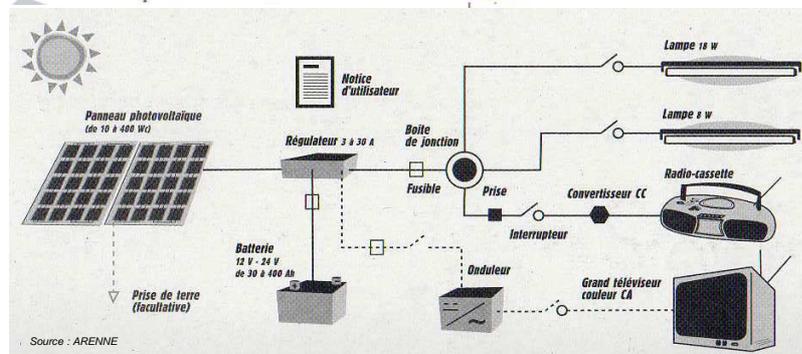
Batterie : une batterie d'accumulateur au plomb permet le stockage d'énergie pendant plusieurs jours afin de palier au manque d'ensoleillement.



Régulation : appareil de gestion de charge et décharge de la batterie.



Récepteurs tension continu : appareils à haut rendement, fonctionnant sous tension continue et / ou alternative.

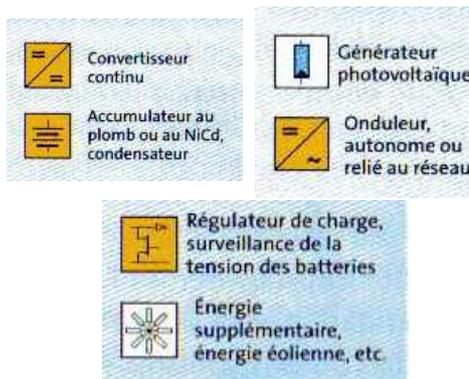


3 - PV AUTONOME – COMPOSANTS « TYPE »

Installations autonomes	Plage de puissance	Application
a  Appareil à courant continu	100 W - 1000 W	Système de pompage simple, ventilation etc.
b  Pompe, électrolyse	100 W - 1000 W	Pompes avec convertisseur adaptable
c  Appareil à courant alternatif	100 W - 1000 W	En particulier dans les installations de pompage plus grandes et dans d'autres systèmes de propulsion avec un convertisseur direct de courant alternatif
d  Appareil à courant continu	100 W - 1000 W	Alimentation de petits appareils, par exemple: calculatrice, montre, etc.
e  Appareil à courant continu	100 W - 1000 W	Système standard d'alimentation pour les appareils individuels, les installations mobiles, les installations de télécommunication, les cabanes, les maisons de vacances, etc.
f  Appareil à courant continu	100 W - 1000 W	Alimentation autonome d'appareils à courant continu: borne de détresse, parc-mètre, etc.
g  Appareil à courant continu	100 W - 1000 W	Installation autonome d'alimentation avec une source d'énergie auxiliaire (gasoil, vent, etc.) pour maisons, refuges de montagne, lotissements éloignés du réseau électrique, etc.

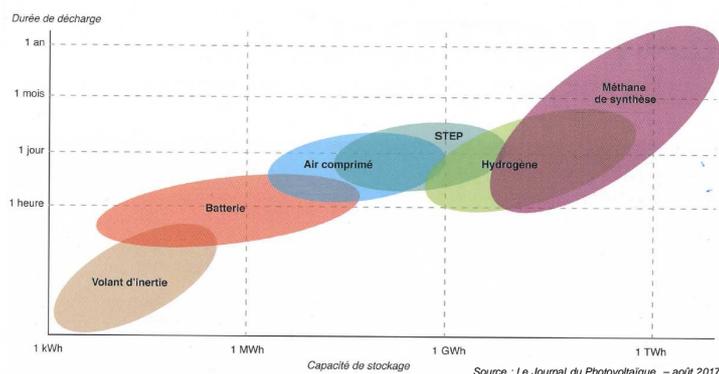
Source : INES

Représentation de différents types de systèmes autonomes avec leur schéma fonctionnel :



3 - PV AUTONOME - COMPOSANTS

Différents types de stockage existent :



Batteries électrochimiques :

- Plomb : 90% des MWh stockés (CEA 2017)
- Lithium Ion : 98% du stockage des installations autoconso en Allemagne (2017) (Stockage des Véhicules Electriques principalement.)

Notions à connaître :

Capacité (Ah ou Wh) : quantité de courant (Ah) ou d'énergie (Wh) à délivrer au cours d'un nombre d'heures précis à tension normale et à une température de 20 degrés Celcius

→ **Exemple :** Batterie de 100 Ah à C/10 : C'est la quantité de courant que la batterie peut décharger en 10 heures.

La capacité en Wh ou kWh est le produit de la tension par la Capacité (Ah)

→ **Exemple :** Batterie 24Vdc de 100Ah à C/10 → Energie disponible 2,4 kWh

Un parc de batterie est constitué d'éléments (cellules) de 2V, 6V, ou 12Vdc. La tension et la capacité désirées s'obtiennent par un couplage série/parallèle des éléments.

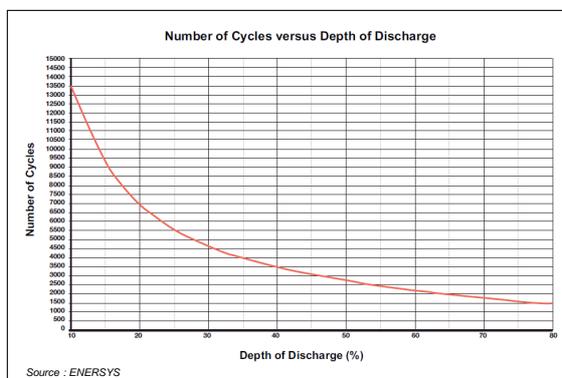
- La mise en série augmente la tension de la batterie.
- La mise en parallèle augmente la capacité (Ah) de la batterie.

22

Notions à connaître :

Cycle : Charge et décharge d'un dispositif de stockage

Profondeur de décharge (DOD) : Relation non linéaire entre le nombre de cycles et la profondeur des cycles.



Décharge de 20% :
→ 7000 cycles

Décharge de 40% :
→ 3500 cycles

Pour un cycle journalier, 3500 cycles correspondent à une durée de vie d'environ 10 ans.

23

Notions à connaître :

Température : La durée de vie et la capacité sont indiquées par le fabricant pour une température de 20 degrés Celcius.

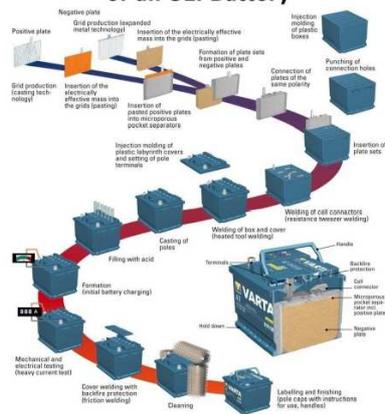
La capacité réelle diminue avec la temperature.

Température	0°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Capacité	80%	92%	95%	100%	103%	105%

Cette durée de vie peut être divisée par 2 si on passe d'une température d'opération de 25 degrés Celsius à 40 degrés Celsius !

Batteries Plomb

Assembly and Construction of an SLI Battery



Varta SLI batteries are rechargeable lead-acid batteries. The Varta Blue Dynamic combines long service life with high reliability and power.



Source : INES

Avantages

- ▶ Rendement(80%)
- ▶ Coût
- ▶ Connaissance
- ▶ Sécurité
- ▶ Recyclage (95%)

Inconvénients

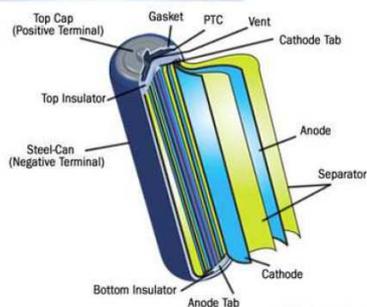
- ▶ Impact environnemental
- ▶ Sensibilité à la température
- ▶ Diagnostiques
- ▶ Durée de vie(1000cycles)

100-200\$/kWh au niveau « cellule »

Now 2 years Large scale

Batteries Lithium-Ion

Cylindrical lithium-ion battery



Source : INES

- ▶ Li-ion (beaucoup de sous-famille)
 - ▶ LFP / NCA / LTO / LMO / Lithium metal
- ▶ Avantages
 - ▶ Densité de puissance
 - ▶ Rendement (>95%)
 - ▶ Durée de vie (4000 cycles)
 - ▶ Maintenance
- ▶ Inconvénients
 - ▶ Sécurité (pour certaines)
 - ▶ Coût
 - ▶ Recyclage
 - ▶ Electronique



Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

27

Autres type de batteries

Hydrogène : L'électricité est convertie en hydrogène via un électrolyseur, puis stockée. Une pile à combustible permet ensuite de transformer l'hydrogène en électricité.

Avantages : Intéressant en complémentarité avec du stockage électrochimique (Saisonnalité), pas d'utilisation de ressources minières comme pour le lithium par exemple.

Inconvénient : coût, rendement encore faible, dangerosité de l'hydrogène.

RedOx Flow (Batteries à circulation) : les batteries à flux stockent et génèrent l'électricité via une réaction d'oxydo-réduction : Deux solutions électrolytiques, successivement réduites et oxydées, sont séparées par une membrane échangeuses d'ions, laquelle permet les échanges de protons.

- Avantages : durée de vie > 10 000 cycles, pas de phénomène d'autodécharge,
- Inconvénients : faible densité de puissance et d'énergie, rendement de 70%

Source : INES

Licence Pro ER2E- 2017 - Cours Photovoltaïque - Site isolé
M. SENECHAL

28

DIFFERENTS TYPES DE BATTERIE PLOMB



Type	Tension nominale (V)	Capacité en C120 (Ah)	Dimensions LxHxh mm	Poids acide inclus approx. (kg)
Monobloc				
OPzS Solar 70	12	70	283x205x385	31,9
OPzS Solar 140	12	140	283x205x385	42,0
OPzS Solar 210	12	210	391x205x385	68,5
OPzS Solar 280	6	280	283x205x385	41,5
OPzS Solar 350	6	350	391x205x385	53,0
OPzS Solar 420	6	420	391x205x385	68,2
Élément				
OPzS Solar 190	2	190	115x208x405	13,7
OPzS Solar 245	2	245	115x208x405	15,2
OPzS Solar 305	2	305	115x208x405	16,6

BATTERIES PLOMB : IMPORTANCE DU TAUX DE CHARGE ET DE DECHARGE

State of Charge	12V Battery Voltage	Volts per Cell
100%	12.7	2.12
90%	12.5	2.08
80%	12.42	2.07
70%	12.32	2.05
60%	12.2	2.03
50%	12.06	2.01
40%	11.9	1.98
30%	11.75	1.96
20%	11.58	1.93
10%	11.31	1.89
0%	10.5	1.75

On observe une dégradation rapide des performances en lien avec le taux de charge

DDQ : degré de décharge quotidien maximum autorisé, on retiendra généralement 60 à 80% pour les batteries solaires et 30% pour les batteries automobiles

Durée de vie en fonction de la DDQ et du type de batterie

Type de plaques	Automobile ouverte	"solaire" ouverte	éranche (gel)	stationnaire ouverte
Capacité unitaire	Plane mince (25 à 200 Ah)	Plane épaisse (10 à 200 Ah)	Plane épaisse (25 à 150 Ah)	Tubulaire (150 à 2000 Ah)
DDQ 10 %	3 à 4 ans	5 à 7 ans	6 à 8 ans	> 10 ans
DDQ 20 %	2 à 3 ans	4 à 5 ans	5 à 6 ans	10 ans
DDQ 30 %	1,5 à 2 ans	3 à 4 ans	4 à 5 ans	6 ans
DDQ 50 %	6 mois à 1 an	1 à 2 ans	2 à 3 ans	4 ans
DDQ 80 %	2 mois	3 à 6 mois	1 à 2 ans	2 ans

(Source : documents de fabricants de batteries, pour une température 25 °C)



CHOIX DES ACCUMULATEURS DU SYSTEME : CRITERES DE SELECTION

- caractéristiques de tension et de courant;
- capacité de stockage (Ah) est calculée à un taux donné de décharge (taux selon lequel l'énergie est consommée). Si ce taux est inférieur à celui indiqué par le fabricant, la capacité de l'accumulateur est plus grande et vice versa;
- décharge maximale (différente pour chaque type d'accumulateur);
- températures de fonctionnement et l'effet de la température sur le rendement;
- durée des accumulateurs – nombre de cycles de charge-décharge possibles avant qu'un remplacement ne devienne nécessaire. Ce nombre dépend de l'ampleur des décharges. Moins l'accumulateur est déchargé à chaque cycle, plus il peut supporter de cycles;
- exigences d'entretien – certains modèles n'exigent pratiquement aucun entretien;
- densité énergétique (quantité d'énergie utilisable produite par les accumulateurs par rapport à leur poids ou à leur volume, au cours d'une période donnée);
- coût et garantie.

CHOIX DES ACCUMULATEURS DU SYSTEME : CAPACITE

Une batterie de capacité de 68 Ah en C/100 revient à dire que cette batterie (Une fois chargée à 100%) est capable de délivrer une intensité de 0,68A pendant 100 heures en effet, : $0,68A \times 100 = 68Ah$

Mais :

Une batterie référencée sous la dénomination 68 Ah C/100 aura réellement une capacité théorique de :

- *68 Ah pour une décharge en 100 heures à $I = 0,68 A$*
- *55 Ah pour une décharge en 20 heures à $I = 2,75 A$*
- *et seulement 50 Ah pour une décharge en 10 heures à $I = 5 A$*

TRADUCTION: si on décharge cette batterie à la cadence de 5 A, la décharge ne durera que 10 heures ($10 \times 5 = 50$) cette même décharge durera 20 heures à la cadence de 2.75 A ($2.75 \times 20 = 55Ah$) et enfin 100 heures à la cadence de 0.68 Ah ($68 \times 100 = 68 ah$)

Plus la rapidité de la décharge est importante plus la capacité réelle de la batterie sera faible ! => Cf. documentations et abaques constructeur

LE REGULATEUR DE CHARGE OU CONTRÔLEUR DE CHARGE (1/2) :

Il sert à augmenter la durée de vie des accumulateurs tout en atteignant les rendements les plus élevés possible :

- empêche la décharge des batteries pendant la nuit dans les résistances internes du générateur photovoltaïque,
- limite la tension de charge terminale,



Il peut servir éventuellement à :

- protéger contre la foudre,
- protéger contre les inversions de pôles,
- réguler automatiquement le dégagement gazeux,
- protéger contre les surcharges et les court-circuit,
- adapter le comportement de la charge au type d'accumulateurs,
- adapter la tension de charge à la température de la batterie,
- afficher de la fonction de charge instantanée ainsi que du courant et de la tension, *

Type de régulation : avec relais (tout ou rien) ou progressive avec électronique de puissance

LE REGULATEUR DE CHARGE OU CONTRÔLEUR DE CHARGE (2/2) :

Le régulateur doit supporter au moins les intensités suivantes :

- intensité maximale de court-circuit générée par les modules PV ($I_{cc} \times \text{Nbre modules}$)
- intensité nominale de la totalité des récepteurs CC alimentés par le régulateur

LE CÂBLAGE :

La chute de tension maximale admissible entre les batteries et n'importe quelle charge ne doit pas excéder certains seuils (circuit CC). Exemple de limites indicatives :

	Installation 12 V	Installation 24 V
Entre module PV et régulateur	0,3 V max	0,6 V max
Entre régulateur et batterie	0,15 V max	0,3 V max
Entre régulateur et récepteurs	0,3 V max	0,6 V max

Exemple : chute de tension dans un câble à deux conducteurs ($2 \times 2,5 \text{ mm}^2$) de 15 m de long alimentant une lampe de 8 W ($12 \text{ V} - 0,6 \text{ A}$) est égale à $15 \text{ m} \times 0,01642 \text{ Ohm/m} \times 0,6 \text{ A} = 0,15 \text{ V}$

(résistance pour une section de câble de $2,5 \text{ mm}^2 = 0,01642 \text{ Ohm/m}$)

3 - PV AUTONOME - COMPOSANTS

ONDULEURS

=> Différents des onduleurs « réseau » !

- onduleur destiné à transformer le courant continu à faible tension (12, 24, 32, 36, 48, 96 ou 120 V c.c.) en courant alternatif à tension plus élevée (120 ou 240 V c.a.).

- perte d'énergie due à la conversion (de 80 à 90%)

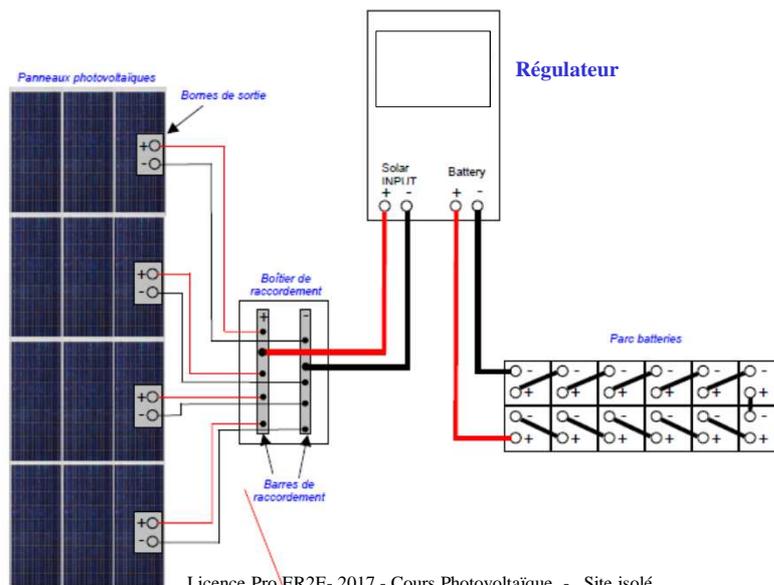
- Matériel et appareils plus courants en AC : câblage, éclairage, télévisions...



Principales spécifications des onduleurs du marché :

- **dispositif de comptage** : affiche la tension d'entrée et de sortie, la fréquence de sortie, et la tension et la fréquence relatives au groupe électrogène ;
- **mise en marche du groupe électrogène ou couplage hybride (éolien)** : relais supplémentaires qui assurent la mise en marche automatique du groupe électrogène à combustible si les accumulateurs atteignent un niveau programmé de décharge ;
- **connexion au réseau** : conversion DC en AC synchronisé avec celui du réseau de distribution d'électricité.
- **charge des accumulateurs** : onduleur gérant tant la charge depuis le réseau que du groupe électrogène pour charger les accumulateurs en même temps qu'ils alimentent les appareils branchés au système.
- **empilage** : certains onduleurs peuvent être raccordés les uns aux autres, soit pour multiplier la puissance de sortie ou pour obtenir une tension de 240 V c.a.

3 - PV AUTONOME – SCHEMA DE CABLAGE TYPE



Photovoltaïque Autonome – Site isolé

1. Introduction
2. Systèmes autonomes — exemples
 - Habitats isolés
 - Besoins professionnels,
3. Composants, critères de choix
 - Panneaux photovoltaïques
 - Batteries
 - Régulateurs - Onduleurs
 - Récepteurs - Générateurs auxiliaires
4. Dimensionnement d'une installation autonome

4 - PV AUTONOME - DIMENSIONNEMENT

La procédure de dimensionnement :

Procédure pour un système générateur solaire/batterie de stockage :

ÉTAPE 1 : Déterminer le besoin en énergie électrique du site par jour : **Ej en kWh** et le besoin en puissance électrique maxi (**W**)

ÉTAPE 2 : Dimensionner la capacité batteries suivant le nombre de jours d'autonomie recherché : **Qbat en kWh (ou Ah x V)**

ÉTAPE 3 : Évaluer la ressource solaire (irradiation solaire du lieu) pour le mois le plus défavorable par jour : **Igpj en kWh/m²**

ÉTAPE 4 : Dimensionner le champ photovoltaïque pour produire l'énergie électrique nécessaire dans le pire cas : **Pc en kWc**

ÉTAPE 5 : Choisir les composants (modules, batteries, régulateurs, onduleur si besoin) en vérifiant leur compatibilité courant/tension/puissance.

La procédure de dimensionnement :

- Besoin en énergie électrique par jour : **Ej (en kWh/j)**
- Irradiation moyenne dans le plan par jour pour le pire mois : **Igpj (kWh/m².j)**
- Ratio de performance de l'installation photovoltaïque : Performance Ratio **PR : 0,8**
- Rendement stockage par batterie (charge et décharge) **ηb = 0,8**
- Profondeur de décharge maxi **DOD (ou Pd) (0,8)**
- Nombres de jours d'autonomie minimum : **Nbj**

FORMULE DE DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME AUTONOME

Capacité batteries : $Q_{bat} \text{ (en kWh)} = E_j \text{ (en kWh/j)} \cdot N_{bj} / P_d$

Puissance crête : $P_c \text{ (en kW / 1kW/m}^2\text{)} = E_j \text{ (en kWh/j)} / [PR \cdot \eta_b \cdot I_{gpj} \text{ (en kWh/m}^2\text{.j)}]$

EXEMPLE : Refuge de haute montagne en France métropolitaine :

ÉTAPE 1 : Déterminer le besoin en énergie électrique du site par jour : **Ej en kWh** et le besoin en puissance électrique maxi (**W**)

Équipement	Quantité	Puissance unitaire (W)	Temps utilisation (h)	Conso journalière (Wh)
Réfrigérateur	1	80	12	960
Lampe	5	20	6	600
Radio	1	30	4	120
Electroménager	1	50	2	100
Divers	1	150	3	450

La puissance maximale en courant continu est de 410 W

Total : Ej = 2 230 Wh

La consommation totale journalière est de 2 230 Wh

EXEMPLE : Refuge de haute montagne en France métropolitaine :

ÉTAPE 2 : Dimensionner la capacité batteries suivant le nombre de jours d'autonomie recherché : **Qbat en kWh (ou Ah x V)**

Hypothèses : Nombre de jours d'autonomie : **Nbj = 4 jours**

Hypothèses : Tension de la batterie : **Ubat = 24 V**

Hypothèses : Profondeur de décharge maxi **Pd = 0,8**

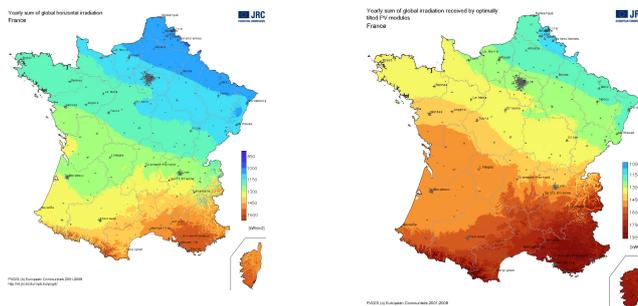
$$Q_{bat} \text{ (en kWh)} = E_j \text{ (en kWh/j)} \cdot N_{bj} / P_d$$

$$Q_{bat} = 11,150 \text{ kWh}$$

$$Q_{bat} = 465 \text{ Ah}$$

EXEMPLE : Refuge de haute montagne en France métropolitaine :

ÉTAPE 3 : Évaluer la ressource solaire (irradiation solaire du lieu) pour le mois le plus défavorable par jour : **lgpj en kWh/m²**



Hypothèses : Inclinaison et orientation optimale sur l'année : 1265 kWh/m²

→ En décembre : 2 kWh/m² et par jour.

$$\text{Total : } l_{gpj} = 2 \text{ kWh/m}^2$$

EXEMPLE : Refuge de haute montagne en France métropolitaine :

ÉTAPE 4 : Dimensionner le champ photovoltaïque pour produire l'énergie électrique nécessaire dans le pire cas : **Pc en kWc**

Hypothèses : Ratio de performance **PR = 0,8**

Hypothèses : Rendement stockage **ηb = 0,8**

Besoins journaliers (étape 2) **Ej = 2,23 kWh/j**

Irradiation moyenne dans le plan des capteurs (étape 3) **Igpj = 2 kWh/m².j**

$$Pc \text{ (en kW / 1kW/m}^2\text{)} = Ej \text{ (en kWh/j)} / [PR \cdot \eta b \cdot Igpj \text{ (en kWh/m}^2\text{.j)}]$$

$$Pc = 1,74 \text{ kWc ou } 1\,742 \text{ Wc}$$

EXEMPLE : Refuge de haute montagne en France métropolitaine :

ÉTAPE 5 : Choisir les composants (modules, batteries, régulateurs, onduleur si besoin) en vérifiant leur compatibilité courant/tension/puissance,.

La puissance maximale en courant continu est de 410 W

La capacité de la batterie doit être de 465 Ah sous 24V (ou 930 Ah sous 12V)

La puissance photovoltaïque doit être de 1 750 Wc, soit 7 modules de 250 Wc

