

Roger Cadiergues

MémoCad nB40.a

LE PHOTOVOLTAÏQUE

SOMMAIRE

- nB40.1.** Le photovoltaïque
- nB40.2.** Les montages photovoltaïques
- nB40.3.** Les cellules photovoltaïques
- nB40.4.** L'électricité photovoltaïque
- nB40.5.** Les circuits électriques de distribution



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

nB0.1. LE PHOTOVOLTAÏQUE

LE PASSÉ DU PHOTOVOLTAÏQUE

Les installations photovoltaïques sont à base de cellules convertissant directement le rayonnement solaire reçu en électricité. Ce n'est pas un processus nouveau : c'est un processus connu depuis plus de 50 ans, utilisé par exemple - plus récemment - pour les explorations spatiales. La technique est, désormais, de plus en plus souvent envisagée pour la production courante d'électricité. Et ce sous trois formes.

L'EXPRESSION DES PUISSANCES

Les puissances électriques produites, en cause dans notre domaine, sont dites «**puissances crêtes**», parce qu'elles correspondent à des conditions standards relativement très favorables :

- . un flux surfacique solaire (irradiation) reçu de 1000 [W/m²],
- . et une ambiance à 25 [°C].

Quand on parle de puissance des installations, c'est toujours - implicitement - de puissance-crête qu'il s'agit, et non pas de puissance moyenne.

LES TROIS MARCHÉS

Il existe, schématiquement et pour le domaine qui nous concerne, trois manières d'utiliser le photovoltaïque.

1. Le premier domaine est celui des installations totalement **locales**, fournissant l'électricité uniquement pour un bâtiment ou un groupe de bâtiments.
2. Le deuxième domaine est celui des installations **mixtes**, l'électricité fournie étant :
 - pour une partie renvoyée au réseau public,
 - une autre partie (éventuelle) étant réservée aux usages locaux du site en cause.
3. Le troisième domaine est celui des installations **centralisées**, conçues, réalisées et gérées par un producteur-fournisseur classique d'électricité, EDF par exemple, ces centrales étant souvent d'assez forte puissance : 10 à 60 [MW], mais également des puissances plus importantes.

L'essentiel des installations actuelles (de l'ordre de 90 % probablement) est de type *mixte*, celles de type *local* étant extrêmement rares dans nos régions. Le reste (environ 10 % à l'échelle mondiale) est de type *centralisé*.

LE MARCHÉ GLOBAL

Le photovoltaïque bénéficie actuellement d'une excellente réputation, le marché doublant environ tous les ans - sans qu'on puisse garantir qu'il en sera toujours ainsi par suite des coûts relativement élevés. Fin 2009 les installations mondiales réalisées atteignent probablement une puissance électrique de l'ordre de 30 000 [MW].

LE RACHAT DU COURANT

L'une des raisons de ce succès apparent est la possibilité offerte à chaque propriétaire d'installation mixte, de revendre du courant (excédentaire ou non) au réseau public. En France, où le téréfif en cause est le plus élevé d'Europe, les conditions sont les suivantes.

1. Jusque fin 2009, les tarifs ont été fixés aux valeurs suivantes (valeurs datant de juillet 2006) le **tarif d'achat** de l'électricité solaire a été de 0,3 [€/kWh] en métropole continentale, de 0,40 [€/kWh] en Corse, dans les DOM, à Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte. Il fallait y rajouter une prime d'**intégration au bâti** de 0,25 [€/kWh] en métropole continentale, et de 0,15 [€/kWh] en Corse, dans les DOM, à Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte. Tout ceci sans compter les *subventions* nationales et européennes éventuelles et les *crédits d'impôt*.
2. Début 2010, face à un déferlement brutal fin 2009 (3000 demandes par jour !), le tarif a été modifié, en particulier pour éviter la mise en place sur constructions sommaires et sans autre utilité. Le tarif (complet) de rachat du kWh est ainsi devenu :
 - . 0,58 [€ / kWh] pour les installations intégrées au bâti dans les établissements d'habitation, d'enseignement et de santé (pas de modifications pour le moment),
 - . 0,50 [€ / kWh] pour les installations intégrées au bâti des bâtiments de bureau, industriels ou agricoles existants (nouveau tarif),
 - . 0,34 à 0,37 [€ / kWh] pour les installations au sol (selon région et puissance, sans changement).

nB40.2. LES MONTAGES PHOTOVOLTAÏQUES

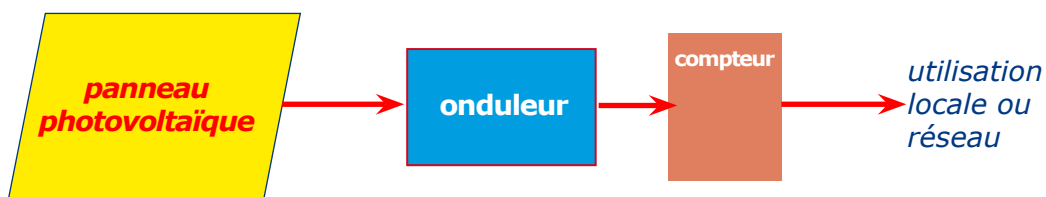
CELLULES, MODULES ET PANNEAUX

Bien qu'il existe plusieurs solutions possibles, toutes les réalisations actuelles reposent sur la création de productions photovoltaïques faisant appel aux trois niveaux de composants suivants :

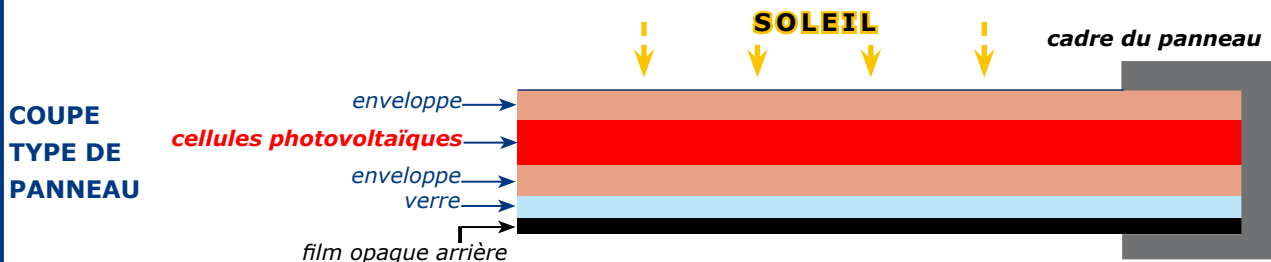
- . au niveau le plus élémentaire, les **cellules photovoltaïques**, qui sont les producteurs d'électricité de base, d'une puissance maximale de l'ordre de 1, [W] (0? [V], 3 [A],
- . les **modules photovoltaïques**, qui regroupent en série de l'ordre aujourd'hui de 50 à 60 cellules afin d'obtenir un courant de caractéristiques suffisantes,
- . les **panneaux photovoltaïques**, chacun encadrant ces modules dans des ensembles plus complexes, avec des fonctions plus larges.

LE MONTAGE TYPE

Le courant produit par les cellules étant continu il faut le convertir, au moyen d'un **onduleur**, pour obtenir du *courant alternatif*. On aboutit finalement au montage type suivant.



Avec des panneaux sont de structures très diverses, avec par exemple la structure suivante..



LES ACCESSOIRES COMPLÉMENTAIRES

Outre les panneaux, c'est à dire les cellules proprement dites plus l'équipement électrique transformant le courant continu en courant alternatif type (220 V, 50 Hz), les composants photovoltaïques comportent souvent les composant suivants (*qui ne sont pas examinés dans ce livret*) :

- . des *régulateurs de tension* destinés à maximiser le courant fourni par les modules,
- . des *batteries* (à décharge rapide) destinées à accumuler l'électricité pendant les périodes non ensoleillées, complétées par des *régulateurs de charge* (afin d'éviter les surcharges pendant les périodes ensoleillées).

DONNÉES COMPLÉMENTAIRES

Les installations photovoltaïques font appel aux données suivantes, présentées aux fiches qui suivent :

- . comment sont constituées les cellules photovoltaïques elles-mêmes (fiche **mC30.3**),
- . quelles sont les caractéristiques du courant électrique émis (fiche **mC30.4**),
- . les montages électriques des panneaux (fiche **mC03.5**).

L'évaluation des performances (énergie électrique produite) des montages photovoltaïques est présentée au livret :

nB41. Evaluer la production photovoltaïque.

LA NORMALISATION

Dans beaucoup de pays développés des normes et des contrôles de qualité viennent compléter les exigences, et les conforter. En France il s'agit essentiellement, pour ce qui concerne les équipements, des normes indiquées sur les schémas présentés à la suite. En ce qui concerne l'évaluation des performances voir les normes indiquées au livret **mc31 (Evaluer la production photovoltaïque)**.

nB40.3. LES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES

LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

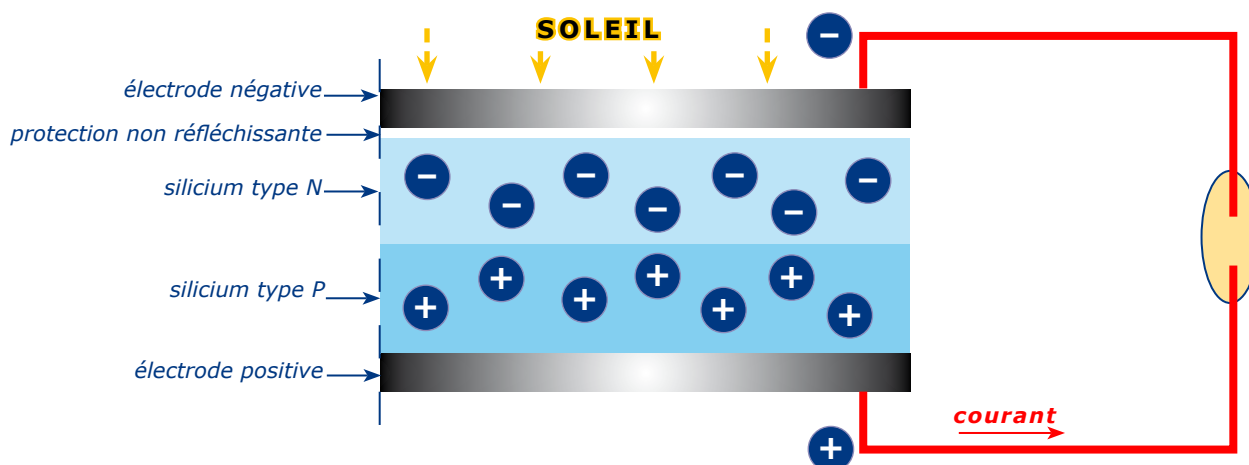
Les cellules photovoltaïques convertissent directement la lumière en électricité. Dans notre cas il s'agit de cellules placées *face au rayonnement solaire*. Ces cellules sont incorporées dans des modules fournissant chacun une tension (*continue*) et une intensité données. Les modules peuvent être montés en série ou en parallèle, ce qui permet de s'adapter aux caractéristiques électriques souhaitées.

Les cellules peuvent utiliser différents matériaux, capables d'effet photovoltaïque grâce à leur structure atomique. Dans les cas courants, actuels et nous concernant, il s'agit de *silicium* (soit monocristallin, soit polycristallin, soit amorphe)). Le recours à des matériaux plus « rares » est également envisagé, avec - par exemple - les produits suivants :

- . le diséléniure de cuivre-gallium-indium
- . le tellure de cadmium,

les autres matériaux (l'arséniure de gallium, le séléniure de cuivre et d'indium, tellure de cadmium, phosphore d'indium, etc.) ayant généralement été abandonnés.

Les modules (50 à 60 cellules en général) ne comportant pratiquement aucune partie mobile, sont relativement robustes et possèdent en principe une assez longue durée de vie. Ceci dit les modules étant généralement soumis à des conditions climatiques sévères, il est essentiel de veiller aux garanties du fournisseur et de suivre ses recommandations. Pour en faciliter l'intégration les modules peuvent être fournis en feuillets ou en tuiles. Leur structure type est celle du schéma ci-dessous.



La fabrication des modules monocristallins ou polycristallins est relativement lourde et coûteuse, d'où un certain succès des cellules en couches minces, mais avec une perte d'efficacité. Les matériaux autres que le silicium présentent les mêmes défauts. Le tableau ci-dessous permet de faire les comparaisons (valeurs types).

matériau :	silicium monocristallin	silicium polycristallin	silicium amorphe	tellure Cd	tellure Cu ₂ In (Ga)
rendement type aux conditions de base :	16-19 %	14-15 %	5-7 %	8-11 %	7-11 %

En utilisant des techniques de dépôt de vapeur il est possible, avec du **silicium amorphe**, de créer des modules très fins et flexibles, d'une épaisseur égale au centième de ce qu'elle est en silicium cristallin. La fabrication des feuilles de **silicium amorphe** étant beaucoup moins coûteuse que la fabrication des cellules cristallines, on s'est souvent orienté vers cette solution. Malheureusement, comme on peut le constater sur le tableau précédent, les performances sont nettement moindres. C'est donc à une véritable optimisation qu'il faut procéder. Le résultat est généralement clair dans les zones (sud) très ensoleillées : le temps de retour des cellules en silicium amorphe est inférieur de 30 à 40 % à celui des cellules cristallines. Ce résultat reste néanmoins à revoir, et peut assez fortement évoluer, en même temps qu'un certain nombre de caractéristiques énergétiques et environnementales des produits.

nB40.4. L'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE

LE FONCTIONNEMENT ÉLECTRIQUE

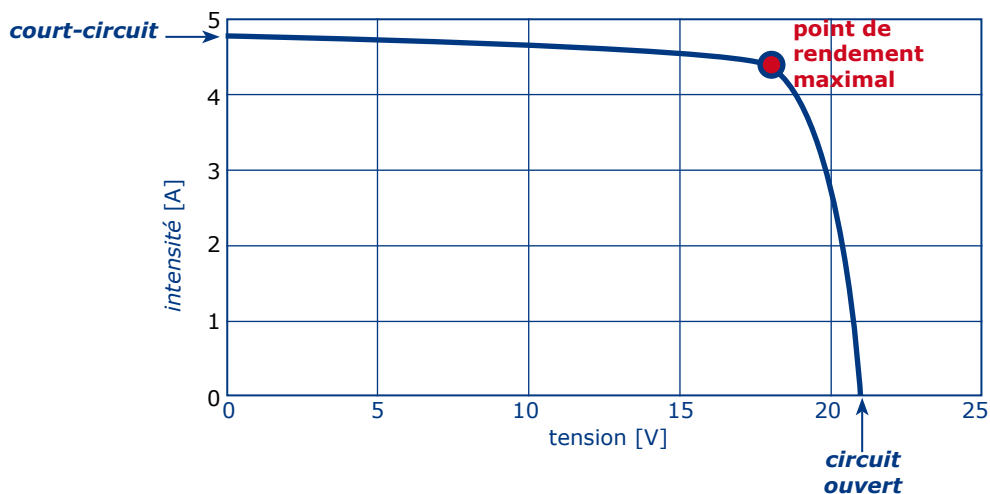
Il est possible de représenter le fonctionnement électrique d'un module au moyen des deux *courbes caractéristiques* présentées sur un même diagramme (voir illustration ci-dessous) fournissant en fonction de la *tension* en volt [V] :

- . l'*intensité* mesurée en ampère [A],
- . la *puissance* mesurée en watt [W].

Cette représentation fait apparaître, sur chacune de ces courbes caractéristiques, trois points particuliers de fonctionnement :

- . le point le plus à gauche, où la tension est nulle (court-circuit), l'intensité [A] étant alors maximale (I_{cc}) et la puissance nulle,
- . le point «médian», où la puissance [W] est maximale (P_{max}), la tension et l'intensité valant alors V_{max} et I_{max} ,
- . le point le plus à droite, où la puissance (P_o) et l'intensité (I_o) sont nulles (circuit ouvert), la tension étant alors maximale (V_{co}).

Les caractéristiques de chaque module doivent être fournies par le fabricant, lequel doit en particulier indiquer la tension maximale supportable, et d'une manière générale les dispositions prises en matière de sécurité électrique.



LES ÉQUIPEMENTS ANNEXES

Dans le cas (aujourd'hui rare en France) où le réseau public n'est pas accessible localement il faut prévoir le stockage de l'électricité, normalement au travers de **batteries**.

Presque toujours il est nécessaire de prévoir un, ou des circuits de protection, dont la technologie peut varier selon les cas :

- . soit par des diodes d'arrêt protégeant le module contre l'inversion des circuits,
- . soit par des diodes de bypass permettant d'éviter la surchauffe du module,
- . soit par tout autre dispositifs interrupteur, en particulier de protection contre les orages.

Le constructeur de ces modules doit soigneusement veiller à la fiabilité des montages.

LES ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

Les dispositifs précédents, tout comme les onduleurs sont sources de consommations d'énergie parasite, à minimiser par un bon choix de ces équipements. C'est la responsabilité du constructeur de ces modules que de veiller à leur efficacité énergétique.

nB40.5. LES CIRCUITS DE DISTRIBUTION

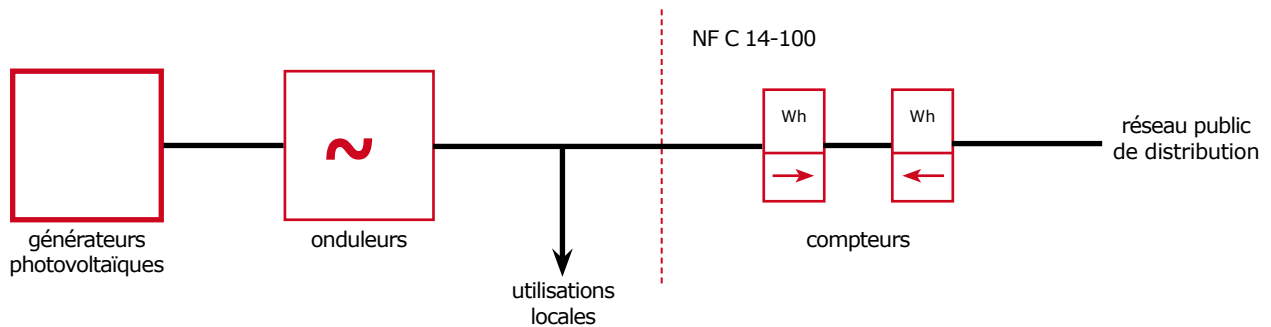
LES DEUX TYPES D'INSTALLATIONS

Pour les circuits avals de distribution deux montages sont possibles :

- . ou bien le courant produit et le courant utilisé partagent un tronc commun, on dit alors que c'est un raccordement «en un point»,
- . ou bien le courant produit est en partie utilisé sur place et le courant restant rejeté sur le réseau public, on dit alors que c'est un raccordement «en deux points».

LE RACCORDEMENT EN UN POINT

L'électricité utilisée localement et celle renvoyée au réseau sont sur un circuit commun :



LE RACCORDEMENT EN DEUX POINTS

L'électricité utilisée localement et celle renvoyée au réseau sont sur deux circuits séparés :

