

Roger Cadiergues

MémoCad nB35.a

LA PRODUCTION LOCALISÉE D'ÉLECTRICITÉ

SOMMAIRE

- nB35.1.** Les productions décentralisées
- nB35.2.** Les microcentrales thermiques
- nB35.3.** L'hydraulique locale
- nB35.4.** L'éolien local
- nB35.5.** La production solaire d'électricité
- nB35.6.** Le photovoltaïque
- nB35.7.** Les installations photovoltaïques
- nB35.8.** Les aspects financiers



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».

nB35.1. LES PRODUCTIONS DÉCENTRALISÉES

Les **productions d'électricité** sont, dans MémoCad, décomposées en deux catégories, chacune d'entre elles bénéficiant d'un livret :

- . les **productions centralisées** : le livret **mB38**,
- . et les **productions localisées** (ou **décentralisées**) : le présent livret, **mB39**.

LES PRODUCTIONS DÉCENTRALISÉES : PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Surtout vantées par les publications et manifestations récentes, les solutions décentralisées que nous examinerons sont les suivantes.

- . les **microcentrales thermiques** : la fiche **nB35.2**,
- . l'**hydraulique locale** : la fiche **nB35.3**,
- . l'**éolien local** : la fiche **nB35.4**,
- . le **photovoltaïque local** : fiches **nB35.5 - nB35.6**,
- . les **piles à combustibles** : fiches **nB35.7 - nB35.8**.

nB35.2. LES MICROCENTRALES THERMIQUES

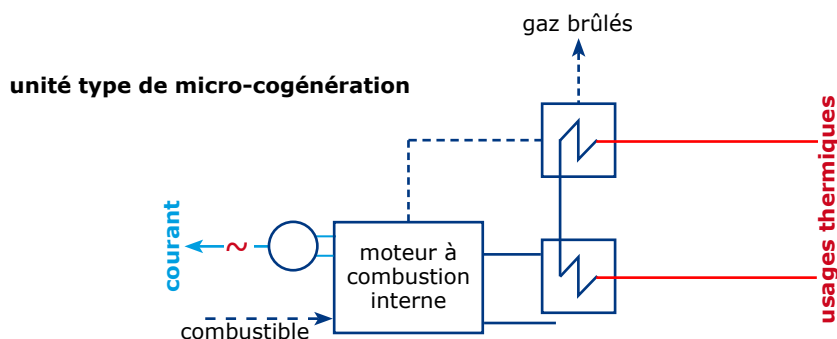
LES PRINCIPES DES SYSTÈMES COURANTS

Les installations de **microgénération** sont de relativement petites installations de production d'électricité (moins de 1000 kW pour ce qui nous concerne ici). Elles sont souvent combinées avec de la production de chaleur (**micro-cogénération** : schéma ci-dessous).

Dans tous les cas l'élément central est un **moteur, à combustion interne** (Diesel). Les rendements types de ces unités sont, normalement, les suivants.

- . Electricité seule : rendement de 38 %,
- . Electricité + chauffage (bien équilibrés) : rendement type global de 85 %.

Les microcentrales de cogénération sont particulièrement indiquées dans les bâtiments où les besoins de chauffage et d'électricité sont souvent simultanés : hôpitaux, piscines ou certaines usines par exemple. De telles installations exigent néanmoins de très sérieuses précautions acoustiques, par suite du bruit du moteur. Au plan du développement durable il faut chercher à utiliser un **biogaz** (voir **mB32**).



LES UTILISATIONS ÉLARGIES

Au lieu des cogénérations «électricité-chaleur» il est parfois possible d'envisager la trigénération, avec une troisième production, celle de **froid** (au moyen d'une machine à absorption utilisant la chaleur récupérée). Il existe également - bien qu'assez rare - des petites centrales de cogénération qui sont combinées avec une **pompe à chaleur**.

nB35.3. L'HYDRAULIQUE LOCALE

LES PETITS BARRAGES

Une solution décentralisée intéressante consiste à développer les petits barrages (10 à 100 kW). Il en existait environ 100 000 de ce type vers 1900, il en subsiste environ le tiers, qui peuvent être équipés de turbines efficaces de production d'électricité. De telles installations viennent compléter les centrales électriques hydrauliques collectives (voir livret **MA48**), entre moins de 5 MW) mais souvent de plus de 5 MW), l'utilisation étant réservée au réseau public. Il existe, toutefois, des cas où une chute d'eau locale peut être directement utilisée, plus ou moins indépendamment du réseau extérieur. De telles installations, dites «**micro-hydrauliques**», ont des puissances de l'ordre de *quelques dizaines de kilowatts*.

LA REFORTE DES MOULINS

La plupart des réalisations microhydrauliques récupèrent les installations d'anciens moulins : il existe encore un peu moins de 2000 centrales électriques de ce type qui sont en activité. Il existait environ 100 000 barrages de ce type vers 1900, 1/3 environ pouvant manifestement être équipés de turbines efficaces, avec des puissances comprises entre 10 et 100 kW. Encore faut-il vaincre les difficultés qui résultent de la loi sur l'eau de 2006, mais un **tel système peut être prévu dans le cadre d'un projet de développement durable** si la situation est favorable, même si c'est relativement rare.

Il existe une procédure très spécifique d'autorisation administrative, autorisation indispensable pour utiliser l'énergie des cours d'eau. Il existe également une organisation dédiée à cette application : le *Groupement des producteurs autonomes d'électricité* (www.gpae.fr) qui fédère les propriétaires de centrales et peut servir de centre de renseignement.

LES TECHNIQUES À UTILISER

Les roues à aubes, qui équipaient les anciennes chutes, peuvent être utilisées dans les cas les plus modestes. Sinon il faut recourir à des turbines standards (de 20 à 750 kW en ordre de grandeur) qui sont faciles à mettre en oeuvre pour des chutes d'eau de 1 à 5 [m]. Pour des chutes plus importantes on peut utiliser des turbines Kaplan, certaines étant également utilisables aujourd'hui pour des chutes plus faibles. Pour les pentes importantes (en montagne ou moyenne montagne) il faut recourir à un canal de dérivation solide (en béton) et à des turbines de type Pelton.

Dans tous les cas, hors rendement, la puissance est schématiquement fournie par la formule :

$$\langle \text{PUISSANCE} \rangle = \langle \text{DÉBIT} \rangle \times \langle \text{HAUTEUR DE CHUTE} \rangle.$$

nB35.4. L'ÉOLIEN LOCAL ET LES MICRO-ÉOLIENNES

L'OBSTACLE AUX ÉOLIENNES PRIVÉES

Bien que quelques précautions aient été prises la création des zones de développement éolien (les parcs éoliens) défavorise très fortement les petites installations localisées. D'autant que se pose presque toujours des problèmes de voisinage.

La solution technique adoptée consiste à intégrer l'éolienne dans le bâtiment desservi, mais le rendement est très médiocre. De ce fait, en France, sauf situation très particulière, il n'y a pas intérêt à équiper directement les bâtiments en éoliennes privées, les exemples relativement valables (éoliennes incorporées aux bâtiments) se situant pour l'essentiel - mais en nombre limité - hors de la métropole et même hors de France. Il s'agit souvent de **bâtiments de grande hauteur** couronnés par des petites éoliennes, un système de rentabilité très limitée.

Pour plus de détails sur les éoliennes intégrées aux bâtiments, consultez le livret :

nB33. L'énergie éolienne

nB35.5. LA PRODUCTION SOLAIRE D'ÉLECTRICITÉ

LES DEUX CATÉGORIES DE PRODUCTION

Il existe deux modes essentiels de production d'électricité utilisant l'énergie solaire :

- . la **production photovoltaïque**, à partir de cellules du même nom, solution se prêtant à des puissances de production très variées,
- . la **production thermodynamique**, utilisant la chaleur du soleil pour produire l'électricité à partir des cycles mécaniques classiques, solution ne pouvant guère convenir qu'à des installations relativement importantes.

LA VENTE D'ÉLECTRICITÉ AU RÉSEAU PUBLIC

Dans les deux cas précédents l'électricité produite peut être :

- . au moins pour partie utilisée localement,
- . mais en général, *totalemment ou pour l'essentiel*, en ré-injectant de l'électricité dans le réseau public.

Dans ce deuxième cas la **tarification de vente au réseau** est, en France, soumise à un régime tarifaire promotionnel couvert par des *textes législatifs et réglementaires*, des textes qui - ayant déjà évolués - seront toujours susceptibles de modifications dans l'avenir.

LA PRODUCTION THERMODYNAMIQUE

La production solaire thermodynamique, la plus ancienne dans les développements réels, ne peut guère être réservée qu'à des centrales un peu importantes, du type centrales urbaines ou inter-urbaines. Elles utilisent directement la chaleur solaire, au travers de centrales électriques (thermodynamiques) classiques. L'efficacité de ces systèmes étant très fortement lié à la température de source chaude, on ne peut utiliser que des capteurs héliothermiques spécifiques (dits ici «fours solaires»), produisant, grâce à l'orientation variable des capteurs et à la focalisation des rayons, une source très chaude de vapeur d'eau ou d'eau chaude permettant d'atteindre des performances thermodynamiques suffisantes .

Vous trouverez, au plan technique comme au plan réglementaire (les tarifs), les détails essentiels sur ces systèmes dans le livret consacré à **l'électricité solaire thermodynamique**.

LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

Reposant sur l'emploi de capteurs photovoltaïques transformant directement le rayonnement en électricité, ce type de production repose, en France, sur trois techniques un peu différentes, correspondant chacune à un régime tarifaire différents, le paramètre essentiel étant *l'intégration plus ou moins poussée*, des modules dans le bâti. Ces trois régimes correspondent aux réalisations suivantes :

- . celle des *installations intégrées au bâti*, montées intégralement dans la toiture de bâtiments clos, qui bénéficient du tarif d'achat le plus élevé,
- . celle des *installations d'intégration simplifiée* qui, ne respectant pas les détails de réalisation fixés pour la catégorie précédente tout en étant intégrées, bénéficient d'un tarif d'achat d'électricité un peu moins élevé,
- . celle des *installations non intégrées*, qui bénéficient d'un tarif de rachat d'électricité encore moins élevé.

LA FOURNITURE NÉGOCIABLE

Pour évaluer l'énergie électrique pouvant être fournie par une installation nous vous conseillons de consulter le livret suivant, basé sur la norme NF EN 15316-4-6 :

nB41 : Évaluer la production photovoltaïque.

ATTENTION : il s'agit là d'une évaluation technique, la part juridiquement vendable étant fixée par l'arrêté du 6 décembre 2000 (article 4), avec une valeur limite tout à fait forfaitaire, relativement indépendante du site, la seule différence acceptée concernant l'appartenance (ou non) à la métropole continentale.

LES DÉVELOPPEMENTS EN COURS

Le présent livret se borne aux techniques couramment utilisées actuellement. De nombreuses autres techniques sont actuellement envisagées, et en cours de développement. Voir, en particulier, le livret :

nB42. Les piles à combustible

nB35.6. LE PHOTOVOLTAÏQUE

Vous trouverez des informations de base sur le phénomène photovoltaïque dans le livret **nB32** consacré aux techniques solaires, le livret qui suit étant consacré aux aspects pratiques relevant des techniques actuelles les plus fréquentes, situation susceptible d'évoluer.

LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Les cellules photovoltaïques convertissent directement la lumière en électricité. Dans notre cas il s'agit de cellules placées à l'extérieur, *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, lesquelles dépendent des matériaux utilisés.

LES MATÉRIAUX DE BASE

Les cellules courantes, à base de **silicium**, sont de **trois types** : à base de **silicium monocristallin**, à base de **silicium polychristallin**, à base de **silicium amorphe**. Avec des rendements très différents.

Le silicium risquant de devenir «rare» et encore plus coûteux, de nombreuses tentatives de substitution ont vu le jour, mais encore jusqu'ici sans grand succès. On peut, en effet et par exemple, utiliser : de l'arséniure de gallium, du séléniure de cuivre et d'indium, du tellure de cadmium, du phosphore d'indium. Une usine, en cours de construction en Allemagne, fabriquera dans quelques années des cellules au «CIS» (cuivre, indium, sélénium), moins coûteuses que celles au silicium.

LES RENDEMENTS

La différence essentielle entre les deux «races» de silicium tiennent au rendement.

- . le **silicium monocristallin** (coût le plus élevé) a un rendement type de production d'électricité de 11 % ;
- . le **silicium amorphe** (coût le moins élevé) a un rendement type de production d'électricité de 5,7 %.

L'espoir, parfois utilisé à des fins commerciales, d'une amélioration des rendements et d'une baisse des prix significatifs ne s'est pas concrétisé depuis 25 ans. Reste néanmoins une incertitude : le CIS, plus économique, et ce pour un rendement de 11 %.

STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DES CELLULES

Les cellules photovoltaïques sont en général carrées, et de 12,5 [cm] de côté. Lors du fonctionnement les phénomènes essentiels sont les suivants : les photons, portés par le rayonnement incident, peuvent être - en atteignant la cellule photovoltaïque - soit réfléchis soit absorbés. Ce sont les photons *absorbés* qui provoquent - au sein du matériau cellulaire - les arrachages d'électrons créant le courant utile.

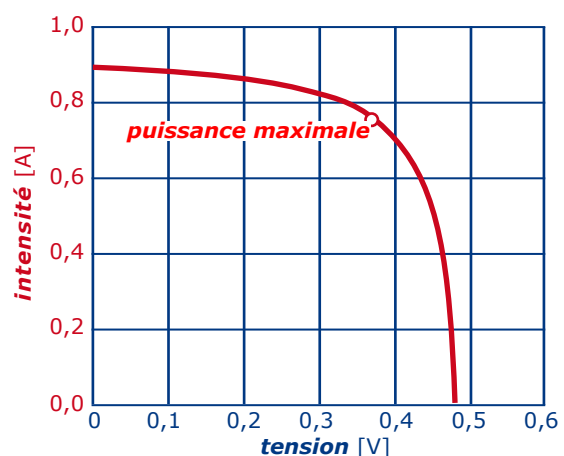
Afin de renforcer le rôle de l'absorption les modules sont normalement recouverts d'une couche réduisant le phénomène de réflexion. De sorte qu'un module type est constitué, outre le coeur en matériau photo-voltaïque, d'un cadre de soutien et d'une couche anti-réflexion face à l'ensoleillement.

Le courant fourni par le module dépend de la tension appliquée et de l'éclairement solaire.

Il est possible de représenter le fonctionnement électrique d'un module au moyen d'une *courbe donnant* en fonction de la *tension* [V] l'*intensité* mesurée en ampère [A]. Cette représentation fait apparaître trois points particuliers de fonctionnement :

- . le point où la tension est nulle (court-circuit), l'intensité [A] étant alors maximale et la puissance nulle,
- . le point «médian», où la puissance [W] est maximale,
- . le point (le plus à droite) où la puissance et l'intensité sont nulles la tension étant alors maximale.

Les caractéristiques de chaque module doivent être fournies par le fabricant, qui doit indiquer la tension maximale supportable, et les dispositions prises en matière de sécurité électrique.



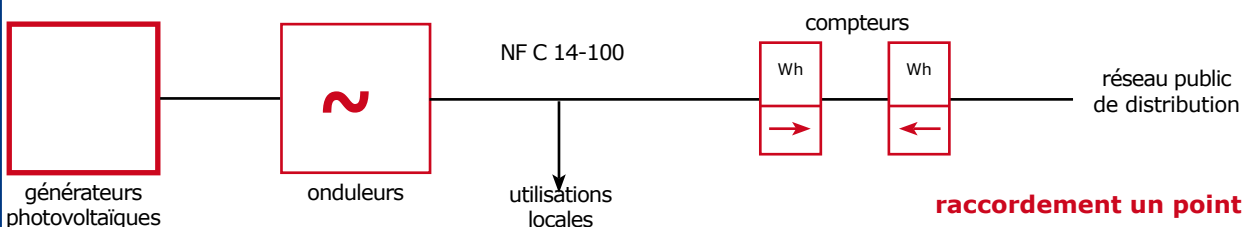
Courbe caractéristique de module

nB35.7. LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

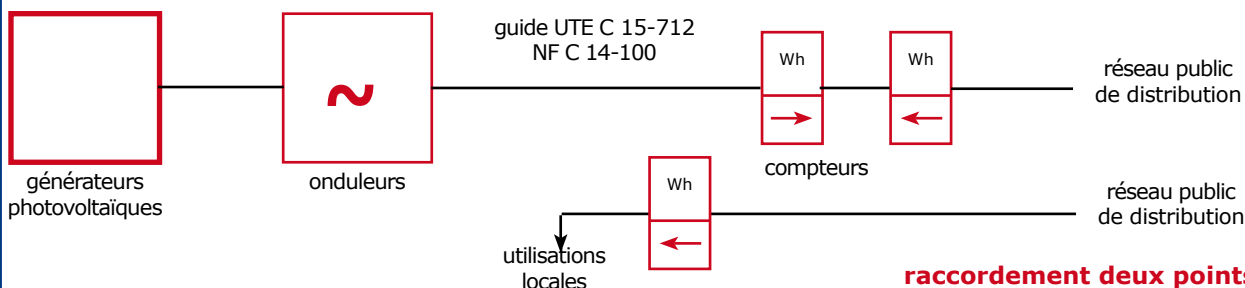
LES MONTAGES PHOTOVOLTAÏQUES

Deux montages sont possibles (voir les schémas ci-dessous) :

- . avec raccordement «deux points» si **toute** l'électricité produite est fournie au réseau public,
- . ou avec raccordement «un point» si **une partie** de l'électricité produite est consommée localement, cette distinction ayant un caractère financier, examiné plus loin.



raccordement un point



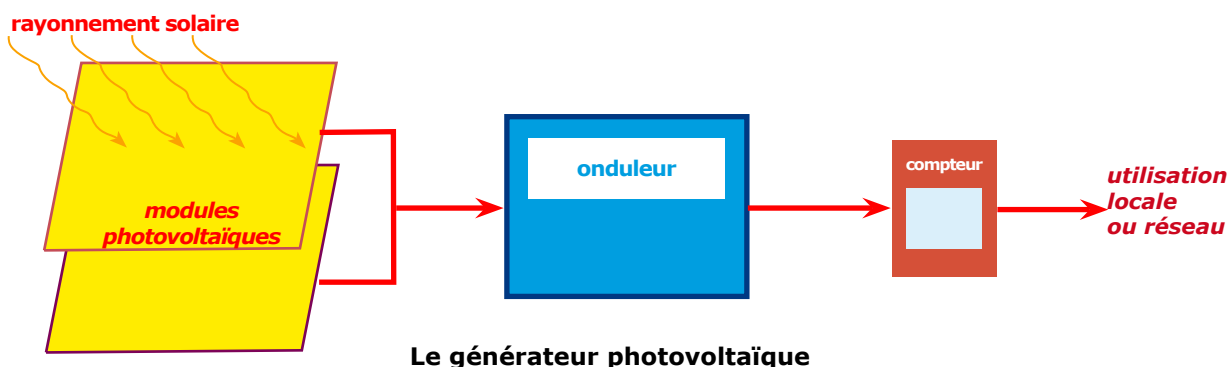
raccordement deux points

L'ASPECT FINANCIER

Depuis juillet 2006 le **tarif d'achat** de l'électricité solaire est de 0,3 [€/kWh] en métropole continentale, 0,40 [€/kWh] en Corse, dans les DOM, à Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte. Il faut 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. Il existe également des *subventions* régionales et européennes, ainsi que des *crédits d'impôt*. Chacun peut choisir d'être fournisseur, les encadrés ci-dessus indiquant les conditions du rachat du courant électrique. Ce tarif de rachat, face à celui du courant public (de l'ordre de 0,1 [€/kWh]), est tel que le réalisateur d'une installation photovoltaïque a intérêt à **vendre tout le courant produit**, donc à utiliser le montage dit «raccordement deux points» (ci-dessus).

LE GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Le courant produit par les **cellules photovoltaïques** étant continu il faut le convertir pour obtenir du *courant alternatif*, lequel doit être conforme à celui distribué en France (tension de 230 [V] et fréquence de 50 [Hz]). Pour ce faire les cellules photovoltaïques sont insérées dans un ensemble plus complexe, le **générateur photovoltaïque**, décrit ci-dessous.



Le générateur photovoltaïque

nB35.8. LES ASPECTS FINANCIERS

LES TARIFS DE RACHAT

Le rachat contractuel de l'électricité produite localement à partir d'énergies renouvelables est une technique introduite récemment en Europe. Comme il est impossible d'affirmer que les conditions financières de ce rachat seront intangibles, nous nous limitons aux tarifs français valables en 2009 (voir table ci-dessous).

Ils sont loin d'être homogènes ainsi que le démontre le prix du rachat de l'électricité d'origine photovoltaïque dont le kilowatt-heure peut être sept fois plus cher que celui du kilowatt-heure issu d'éoliennes.

TARIFS DE RACHAT (nouvelles installations)	
Filière	Tarif de rachat
Hydraulique	0,0607 [€/kWh] à 0,1025 (selon primes diverses)
Eolien terrestre	0,082 [€/kWh] (pendant 10 ans)
Eolien maritime	0,13 [€/kWh] (pendant 10 ans)
Photovoltaïque	0,30 [€/kWh] (hors bâti) à 0,55 [€/kWh] (intégré au bâti)
Géothermie	0,12 [€/kWh] à 0,15 (selon primes diverses)
Biogaz, méthane	0,075 [€/kWh] à 0,14 [€/kWh] (selon primes diverses)

LE CAS PARTICULIER DU PHOTOVOLTAÏQUE

Depuis juillet 2006 le **tarif d'achat** de l'électricité solaire est de :

0,3 [€/kWh] en métropole continentale,

0,40 [€/kWh] en Corse, dans les DOM, à Saint-Pierre-et-Miquelon et Mayotte.

Il faut 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.

Il existe également des *subventions* nationales et européennes, ainsi que des *crédits d'impôt*.

Pour plus de détails sur ce problème des tarifs consultez le livret :

nB41. Evaluer la production photovoltaïque

