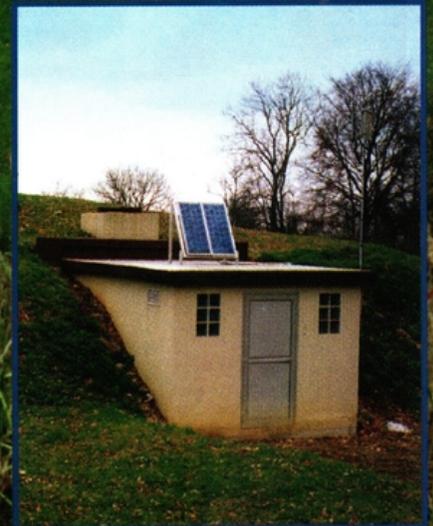


ministère de l'**agriculture**, de la **pêche** et de l'**alimentation**

FONDS NATIONAL POUR LE DEVELOPPEMENT DES ADDUCTIONS D'EAU

APPLICATION DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE A L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE EN ZONE RURALE



DOCUMENT TECHNIQUE F.N.D.A.E.

N°12

EDITION 1995

ISBN 2 - 11 - 089189 - 0

Couverture :

Photo centrale : Installation de pompage de Zigliara (Corse)

Photos de droite : - en haut : Télémessure de niveau d'eau (Oise)

- en bas : Pompe doseuse de chlore

Sommaire

INTRODUCTION

1. -	RECENSEMENT DES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES	p. 3
2. -	L'ELECTRICITE PHOTOVOLTAIQUE	p. 8
2.1 -	Une présentation très simple de l'énergie photovoltaïque	p. 8
2.2 -	L'énergie photovoltaïque	p. 8
2.3 -	Production de cellules et de modules	p. 10
2.4 -	L'installation photovoltaïque	p. 11
2.5 -	Méthode de dimensionnement simple d'un système photovoltaïque	p. 15
2.6 -	Comparaison avec les sources d'énergie concurrentes	p. 16
2.7 -	Qualité d'installation, entretien, garanties, assurances	p. 17
3. -	LES APPLICATIONS DU PHOTOVOLTAIQUE A L'EAU POTABLE	p. 19
	(ensemble de fiches)	
■	Pompage	p. 20
■	Electrovanne	p. 23
■	Surpresseur	p. 24
■	Chloration	p. 25
■	Stérilisation par rayons ultra-violet	p. 28
■	Station d'épuration	p. 30
■	Télémesure	p. 31
■	Débitmètre	p. 34
■	Mesure de niveau par bulle à bulle	p. 36
■	Radio-communication	p. 38
■	Barrage	p. 40
■	Dimensionnement	p. 41
	CONCLUSION	p. 42
	ANNEXE	p. 43
■	Liste des principaux intervenants dans le domaine de l'énergie photovoltaïque	

Introduction

Pour satisfaire la fourniture d'eau potable en sites isolés, les maîtres d'ouvrage sont souvent confrontés à des problèmes difficiles d'alimentation électrique. Il peut s'agir, par exemple, de l'alimentation d'électrovanne, de systèmes de pompes doseuses pour chloration de source, de système de mesure de niveaux d'eau dans les châteaux d'eau, de télécommande de remplissage de châteaux d'eau ...

Des contraintes d'éloignement, de difficultés d'accès, d'environnement peuvent rendre prohibitifs les coûts de raccordement au réseau centralisé d'électricité. Les solutions conventionnelles de remplacement (groupes électrogènes, piles, ...) imposent, quant à elles, d'importantes charges d'exploitation, de personnel et de carburant.

Une solution à ces contraintes peut bien souvent être l'utilisation d'un générateur photovoltaïque.

En effet, des études économiques menées au cas par cas montrent que les générateurs photovoltaïques peuvent être tout à fait compétitifs tant en terme d'investissement qu'en terme de coût de fonctionnement. Aussi, apparaît-il important d'analyser cette technologie comme solution potentielle d'alimentation électrique des appareillages isolés pour la fourniture d'eau potable. Le coût du watt produit étant relativement élevé, il est important de limiter les puissances installées et donc de veiller à la consommation des appareils récepteurs. En effet, le choix d'équipements performants du point de vue énergétique permet de

rendre tout à fait rentable une solution photovoltaïque alors qu'elle pouvait apparaître impossible en première approche.

Le générateur photovoltaïque peut résoudre les problèmes suivants :

- difficultés d'accès, isolement des sites
- coût d'installation de lignes EDF élevé
- coût d'exploitation élevé pour des équipements de faible consommation

Par rapport aux autres solutions (piles, groupe électrogène, ...) ce système a les avantages suivants :

- entretien réduit
- autonomie (évite l'approvisionnement en carburant ou le remplacement des piles)
- respect de l'environnement (absence de bruit, infrastructure de pylônes)

Ce document, synthèse des équipements pour l'alimentation en eau potable, pouvant utiliser l'énergie photovoltaïque, comprend trois parties :

1. - un recensement des installations existantes en eau potable
2. - une présentation de l'électricité photovoltaïque
3. - des fiches de synthèse par type d'installation envisageable

Recensement des installations photovoltaïques

Plusieurs enquêtes menées en 1992 et en 1995 auprès de :

- différentes Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt de métropole et des départements d'Outre-Mer.
- différentes délégations régionales de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.

- des fabricants de modules photovoltaïques
- des assembleurs photovoltaïques
- des compagnies fermières pour l'eau
- des fabricants de produits spécifiques à l'eau

ont permis de répertorier environ 250 installations qui sont regroupées dans le tableau 1 ci-après.

TABLEAU 1 : Installations photovoltaïques pour l'alimentation en eau potable répertoriées

DEPARTEMENT	MAITRE D'OUVRAGE	TYPE ET NB D'INSTALLATIONS
Ain	Commune de Vaux-en-Bugey	Electrovanne pour chloration de source (1)
Alpes de Haute-Provence	Institut Technologique d'Appui au Codéveloppement	Pompage d'eau pour élevage (1)
Ariège	Refuge étang de Pinet	Pompage et potabilisation d'eau avec U.V. (1)
Aude	Syndicat intercommunal du Sud Audois Particuliers	Electrovanne pour injection du chlore gazeux Pompages domestiques (6)
Bouches-du-Rhône	Société du canal de Provence	Vanne de sectionnement pour sécurité (2) Télétransmission (1)
Cantal	Commune de Leynhac Commune de Junhac Commune de Roannes St-Mary Commune de Laroqueville Commune de Jaleyrac Commune de Teissières les Boulies Commune de Ussel	Transmetteurs de niveaux d'eau (15)
Charente	Syndicat Intercommunal d'alimentation en eau potable	Télémesure de niveau de château d'eau (2)
Charente Maritime	LFPO	Irrigation de marais à but écologique (1)
Cher	SIAEP	Télémesure de niveau de château d'eau (1)
Région Corse	SER du Sud Parc Naturel Régional SER du Nord / Nord-Est SER du Centre OEHC	Pompage d'eau (3) Chloration (6) Commande de vanne Mesure de débit, télétransmission (20)
Creuse	SIAEP de la Rozeille SIAEP d'Evaux les Bains - Budelière - Chambon S/ Voueize SIAEP de la région de Crocq SIAEP de l'Ardour SIAEP de la région d'Ahun SIAEP de la vallée de la Creuse Commune de la souterraine	Télémesure + chloration (1) Chloration (2) Chloration (1) Télémesure (1) Télémesure (3) Chloration (1) Chloration (1) Télémesure (1)
Eure	CFSP	Plusieurs installations de télémesure de niveau d'eau
Haute-Garonne	Syndicat départemental des eaux	Télétransmission de niveau dans réservoirs (2)
Gers	Communes	Mesure de niveaux dans réservoirs (2)
Hérault	Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Montpellier	Pompage d'eau pour irrigation (1)
Indre		Aménagements hydrauliques de barrages (25)
Ile-et-Vilaine	SIAEP - Forêt du Theil Région nord de Rennes - Forêt de Paimpont	Télémesure de niveau d'eau (2) Pompe doseuse de chlore (1)
Isère	Commune de Monestier-de-Clermont Commune de Quai en Chartreuse	Electrovannes pour chloration de source (2)

() Nombre d'installations similaires

TABLEAU 1 : suite

DEPARTEMENT	MAITRE D'OUVRAGE	TYPE ET NB D'INSTALLATIONS
Jura	Commune de Château-Chalon SIEP de Ladage-le-Fied SIE Montagne Le Templier Commune de Cornod - Commune des Crozets	Transmission de niveau d'eau (1) Vanne motorisée (1) Pompe doseuse de chlore (3)
Landes	Ferme	Pompage pour irrigation (1)
Loir et Cher	Commune d'Ouzouer le Marche	Relevage d'eau pour station d'épuration par lagunage
Loire	Commune d'Ecotay	Electrovanne pour chloration de source (1)
Lozère	Syndicat départemental d'Electrification SIEP du Causse de Sauveterre	Pompage eau potable (2) Pompe doseuse de chlore (1)
Manche	Nombreuses communes	Système de télésurveillance (15)
Meurthe et Moselle	Commune de Tramont Saint-André Commune de Vandeleville SIE de Selaincourt SIE de Diarville SIE de Pulligny SIE du Trey Saint-Jean SIE du Trey Saint-Jean Tonnoy SIE de Champey Vittonville	Télémesure de niveau d'eau (1) Pompe doseuse de Javel Pompe doseuse de Javel Pompe doseuse de Javel Réservoir de Laneuveville - Télémesure niveau d'eau Réservoir sur tour de Seicheprey - Télétransmission Réservoir semi-enterré de la Croix des Carmes - Télétransmission Réservoir principal - Télétransmission Télégestion (en soutien de batterie classique)
Moselle	Syndicat des Eaux de Benamont	Télémesure de niveau de château d'eau Télétransmission
Nièvre	Association syndicale libre de Vauclaix	Commande d'une électrovanne
Oise	Commune de Beauvais	Télémesure de niveau d'eau (1)
Pyrénées Atlantiques	Albintze	Pompage (1)
Hautes Pyrénées	Collège de Garaison - Syndicat Intercommunal d'Assainissement ADOUR-ECHEL Institution interdépartementale pour l'Aménagement hydraulique du Bassin de l'Adour.	Station d'épuration (2) Commande vanne (1)
Pyrénées Orientales	Commune d'Escaro	Pompage d'eau (1)
Savoie	Commune de Bellecombe en Bauges SI de l'agglomération de Chambéry Commune de Barby	Pompe doseuse de chlore Mesure du niveau de la nappe Télémesure de niveau de réservoir
Haute-Savoie	Syndicat de Peillonx Commune de Sales	Pompe doseuse de chlore Commande de vanne automatique
Haute Vienne	Commune de Bujaleuf et Sauviat sur Vige	Télésurveillance (2)
Guadeloupe	Commune Anse Bertrand Commune de Capesterre MG Commune de Grand Bourg Commune de Morne à l'Eau Commune de Moule Commune de Saint-Louis	Pompage d'eau (2) Pompage d'eau (2) Pompage d'eau (3) Pompage d'eau (1) Pompage d'eau (2) Pompage d'eau (1)
Guyane	Commune et SIVOM DDASS	Divers pompages (16 villages isolés) Pompes d'exhaure et pompes doseuses de chlore (14)
Mayotte	Commune de M'TSANGAMOUI Commune de Dembeni Commune de M'Liha	Pompage eau potable pour le village Pompage dans des groupements de villageois pour l'irrigation (2)
Réunion	M. ODON	Pompage eau potable
Polynésie Française	Communes	Pompages d'eau sur 6 îles (10)
Nouvelle Calédonie	Commune de Bourail	Pompage eau potable (1)

() Nombre d'installations similaires

Plusieurs types d'application de l'énergie photovoltaïque à l'alimentation en eau potable ressortent à l'issue de cette enquête.

Elles sont regroupées dans le tableau ci-après. Les différents coûts indiqués dans ce chapitre correspondent aux coûts réels à la date des réalisations.

TABLEAU 2 : Différents types d'installations

Type d'installation	Nombre	Puissance crête Photovoltaïque	Coût approximatif en FHT
Pompage d'eau potable	17 en métropole 30 en Guyane 13 en Guadeloupe 1 à la Réunion 3 à Mayotte 10 en Pacifique Sud 1 en Nouvelle Calédonie	40 à 3840 Wc	13 000 F. à 552 000 F.
Chloration d'eau	28 en Métropole 14 en Guyane	40 à 160 Wc	6 500 F. à 36 500 F.
Commandes de vannes	16	50 à 480 Wc	15 000 F. à 40 000 F.
Télétransmission	90	20 à 90 Wc	7 000 F. à 20 000 F.
Télésurveillance			
Mesure de débit avec transmission	12	30 Wc	8 500 F.
Tamis rotatif de station d'épuration	2	50 à 160 Wc	25 000 F. à 55 000 F.
Relevage d'eau pour station de lagunage	1	360 Wc	36 000 F.

Les figures 1 et 2 ci-après indiquent les répartitions relatives en nombre par type d'installation et en puissance crête moyenne des installations.

L'examen de ces graphes permet d'effectuer les remarques suivantes :

■ Parmi les installations répertoriées, plus de 40 % correspondent à des installations de télémessure ou de télésurveillance, mesures de débit (installations

de petites puissances), les installations de pompage (fortes puissances en général) représentant quant à elles 30 % et les installations de potabilisation d'eau 20 %.

■ Plus du tiers des installations ont une puissance crête photovoltaïque inférieure ou égale à 40 Wc (c'est-à-dire utilise un seul module) et environ trois quarts ont une puissance ne dépassant pas 240 Wc (6 modules photovoltaïques).

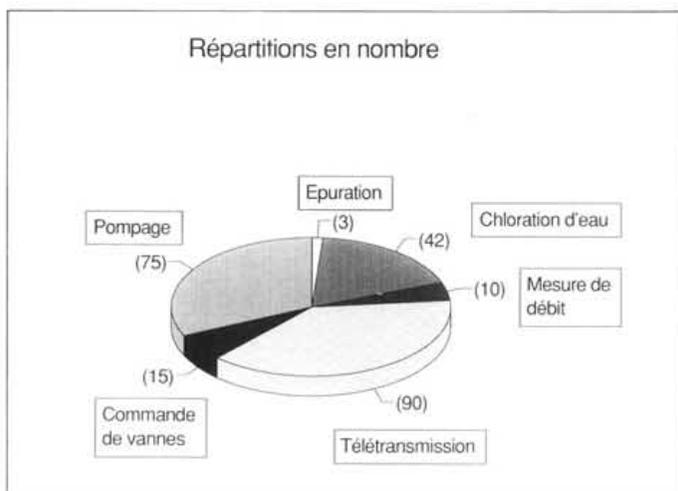


Figure 1

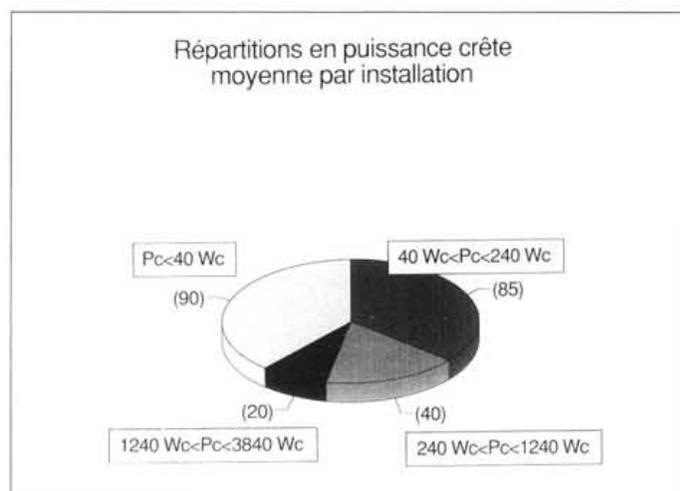


Figure 2

Le graphe (figure 3) indique les coûts moyens d'installation ainsi que les puissances crête relatives selon les diverses applications.

Le coût moyen des installations de pompage se situe aux environs de 190 000 F.H.T., la puissance crête moyenne étant d'environ 1300 Wc.

Les installations de télétransmission de mesures nécessitent de très faibles puissances (≈ 40 Wc) et conduisent à des coûts d'environ 6 000 F.H.T. Les coûts moyens ramenés au Wc varient selon les types d'installation de 140 [F.H.T./Wc] (transmission de niveau d'eau, pompage) à 380 [F.H.T./Wc] (tamis rotatif de station d'épuration).

Sur les graphes (figures 4 et 5) ont été portés les coûts en fonction de la taille de l'installation pour toutes les installations réunies (un même point pouvant être commun à plusieurs installations).

On n'obtient pas une variation parfaitement linéaire (les coûts d'installation pouvant varier fortement selon les difficultés d'installation), néanmoins, on constate qu'une valeur moyenne de 150 [F.H.T./Wc] (valeur couramment admise) donne une bonne estimation pour des installations d'assez fortes puissances (500 Wc).

Pour les installations de très petite taille (< 100 Wc), les coûts varient fortement allant de 140 [F.H.T./Wc] à 500 [F.H.T./Wc]. Cela est principalement dû au fait que les coûts d'installation (frais de transport et de déplacement) peuvent être très variables et prennent, en fait, une part prépondérante dans les installations de très petites tailles.

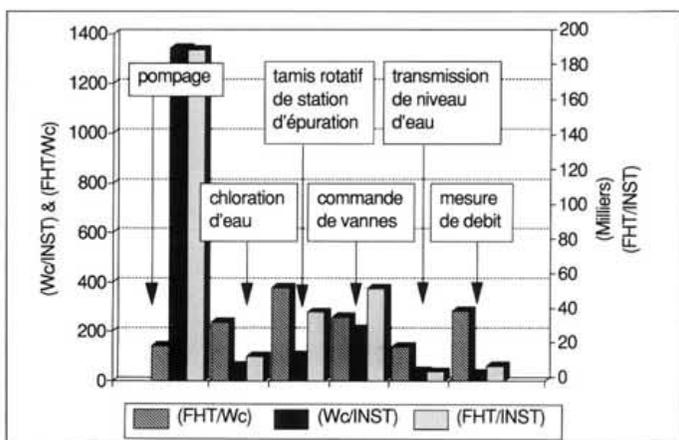


Figure 3

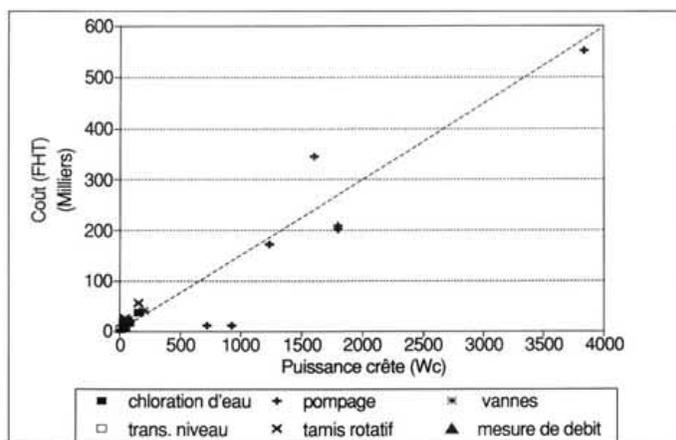


Figure 4

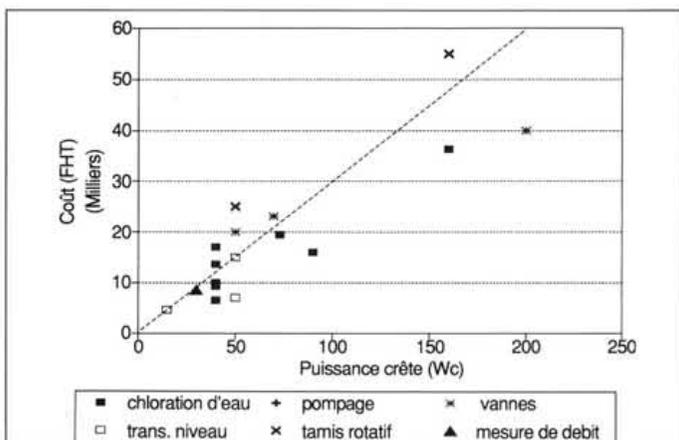


Figure 5

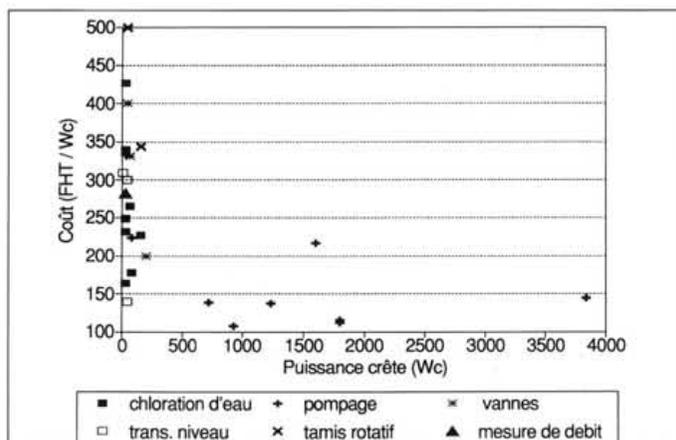


Figure 6

Une étude menée sur l'ensemble des installations photovoltaïques de la région CORSE (concernant l'eau potable mais aussi les autres secteurs) a montré pour environ 370 installations, réparties entre

1984 et 1993, une grande stabilité des coûts en francs courants (environ 170 FHT/Wc), les variations étant essentiellement dues à la taille des installations et les difficultés d'accès.

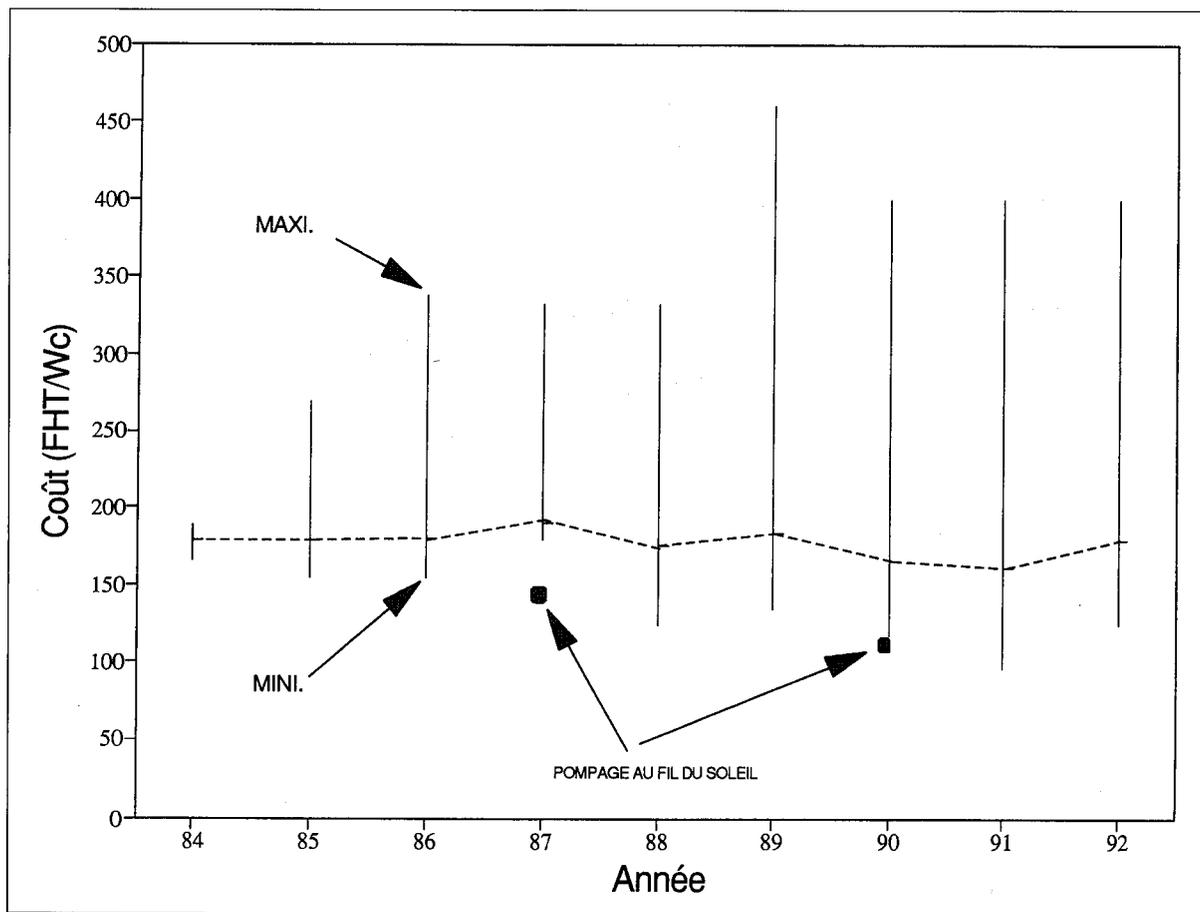


Figure 7

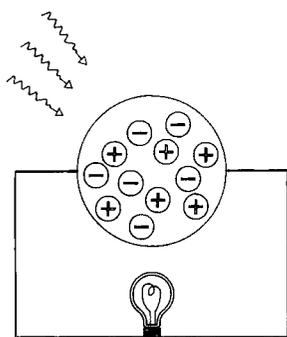
Evolution du coût moyen du Wc au cours des ans en francs courants pour les installations situées en région CORSE.

2.1 Une présentation très simple de l'énergie photovoltaïque

La conversion photovoltaïque découverte par le physicien français A. BECQUEREL (1839) est le **seul moyen connu de convertir directement la lumière en énergie électrique**.

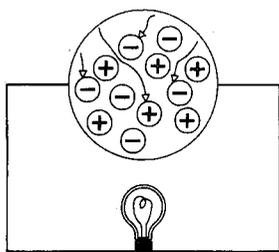
Les cellules photovoltaïques ou photopiles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs. Le matériau de base est le silicium.

2.1.1. Comment fonctionne une photopile



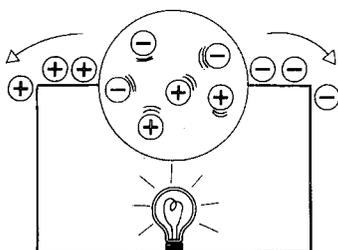
- 1 -

La lumière solaire qui transporte de l'énergie arrive sur la cellule photovoltaïque. Celle-ci contient des charges électriques.



- 2 -

La lumière solaire transmet son énergie aux charges électriques du silicium.



- 3 -

Ces charges sont ainsi mises en mouvement, ce qui produit un courant électrique.

Les cellules photovoltaïques sont regroupées pour former un "module photovoltaïque", les modules regroupés formant eux-mêmes un "panneau photovoltaïque".

Le courant électrique fourni par un module est un courant continu sous une tension de 12 V.

La puissance des modules varie en fonction de l'ensoleillement, la puissance maximum étant appelée puissance crête et s'exprime en watts crête (Wc).

Il existe des modules ayant une puissance crête de 10 Wc jusqu'à 50 Wc.

2.1.2. Avantages de la conversion photovoltaïque.

- Pas besoin de pièces en mouvement
- Pas d'usure
- Pas de bruit
- Ne nécessite pas des températures élevées
- Pas de fluides sous pression
- Très faible incidence sur l'environnement.

2.1.3. Les applications de l'énergie photovoltaïque

- Télécommunications (relais hertzien, relais TV, relais radio-téléphone...)
- Electrification rurale (éclairage, réfrigérateur...)
- Pompage
- Signalisation (routière, aérienne, maritime...)
- Détection, protection (commandes de vannes de sécurité, système d'alarme...)
- Stations de mesures (stations automatiques météorologiques, mesures de débit, de niveau, comptage de trafic...)

2.2. L'Energie photovoltaïque

2.2.1. La cellule photovoltaïque

La cellule solaire ou photopile convertit directement le rayonnement solaire en courant électrique suivant l'effet photovoltaïque.

La fabrication des cellules s'effectue à partir de plaquettes carrées de silicium multicristallin. Les couches minces de silicium amorphe déposées sur du verre peuvent être également utilisées.

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des "impuretés") sont substituées dans un réseau cristallin (le dopage).

- Si l'atome d'impureté contient plus d'électrons que le silicium, le matériau contiendra des électrons libres en excès : il sera dit de type "N" (exemple : silicium dopé au phosphore).
- Si au contraire, l'atome d'impureté contient moins d'électrons que le silicium, le matériau sera déficitaire en électrons : il sera dit de type "P" (exemple : silicium dopé au bore).

Une cellule solaire sera obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposé (jonction PN). Au voisinage de la jonction apparaît un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives.

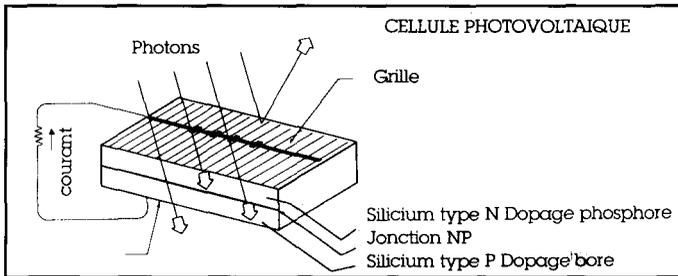


Figure 8 - Doc photowatt

2.2.2. L'effet photovoltaïque

Un photon (particule de lumière) dont l'énergie est suffisante, heurtant un atome, peut arracher un électron créant ainsi simultanément une paire électron-trou. L'électron ayant acquis suffisamment d'énergie peut se déplacer vers la jonction N/P, où la présence du champ électrique a pour conséquence la collecte de l'électron vers la région N.

Une tension électrique apparaît entre les deux côtés N et P. Le dispositif devient générateur électrique sous l'effet de la lumière. La collecte de courant se fait par les contacts métalliques, en forme de grille sur chaque face. Si ces électrodes sont reliées à un circuit extérieur, un courant circule.

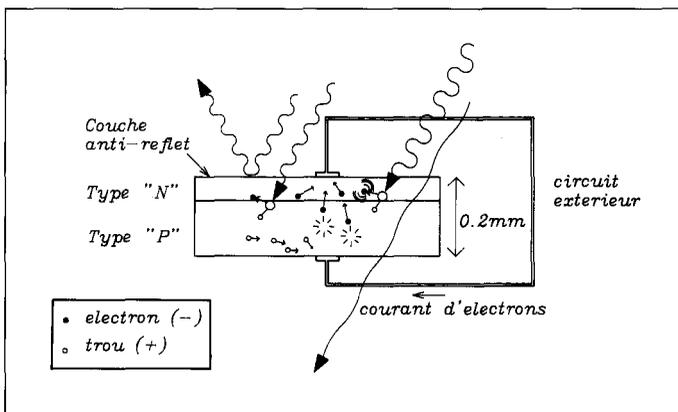


Figure 9 - D'après Doc. G. MOINE

Toute l'énergie de la lumière solaire n'est pas transformée en électricité :

- certains photons sont réfléchis sur la face avant des photopiles
- certains ne sont pas assez énergétiques pour arracher un électron
- seuls les photons d'énergie suffisante sont absorbés et créent des paires électrons-trous
- enfin de nombreux électrons créés rencontrent des charges positives et se recombinent avant d'avoir fourni un courant utile.

2.2.3. Le module photovoltaïque

Pour obtenir une tension et une puissance suffisantes, il est nécessaire de connecter plusieurs cellules entre elles. Les ensembles de cellules sont "encapsulés" dans des "modules" étanches qui les protègent de l'humidité, des chocs et des nuisances.

On peut avoir, par exemple, 36 cellules en silicium multicristallin en série pour une tension nominale de 12 V.

■ PUISSANCE CRETE D'UN MODULE

La puissance d'un module varie en fonction de l'ensoleillement.

On appelle puissance crête d'un module, la puissance optimale délivrée sous un éclairage de 1000 W/m² et pour une température de jonction de la cellule de 25° C.

L'éclairage de 1000 W/m² correspondant à l'éclairage maxi reçu ; la puissance crête correspond donc à la puissance maxi qu'il peut fournir.

■ RENDEMENT D'UN MODULE

$$\eta = \frac{\text{Energie électrique fournie}}{\text{Energie solaire reçue}}$$

Le rendement dépend des conditions de fonctionnement électrique des cellules. Il passe par un maximum à ce que l'on appelle le point de puissance maximal.

Exemples de rendement courant de cellules fonctionnant à leur point de puissance maximum

TYPE DE PHOTOPILE	RENDEMENT (%)
Silicium monocristallin	13 à 15
Silicium multicristallin	11 à 13
Silicium amorphe	4 à 6

■ CARACTERISTIQUE COURANT-TENSION D'UN MODULE

Le courant produit par un module varie conformément aux diagrammes courant (A) / tension (V) ci-après.

Il dépend de :

- l'éclairement solaire
- la température des cellules

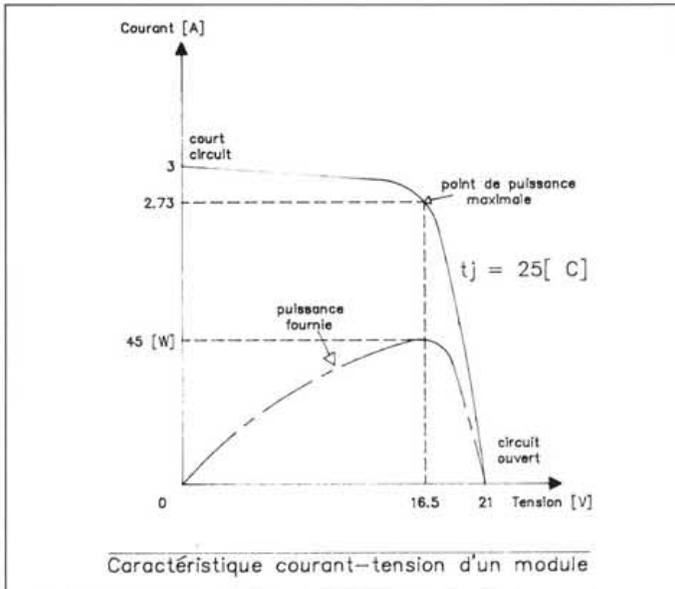


Figure 10

Caractéristique courant-tension d'un module (éclairage 1000 W/m^2 , température de jonction de 25° C)

2.3. Production de cellules et de modules

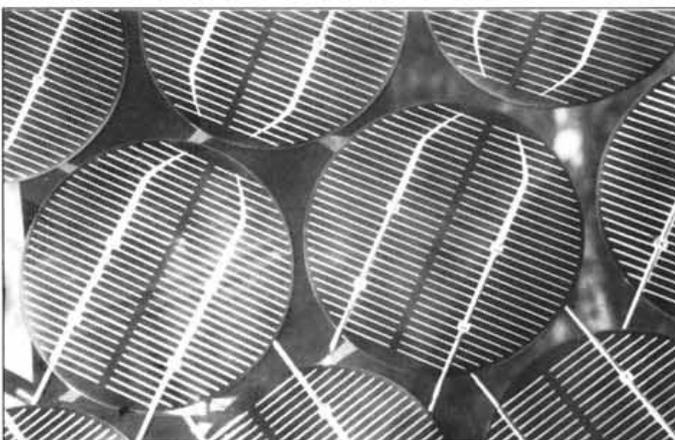
(d'après document ADEME "L'électricité solaire")

La France industrialise deux technologies principales :

2.3.1. La technologie silicium cristallin

■ LE SILICIUM MONOCRISTALLIN

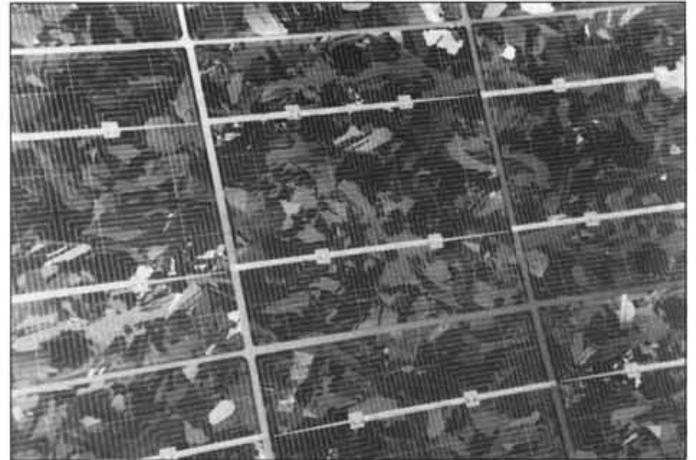
Dans cette technologie, les cellules sont réalisées par sciage de monocristaux de silicium de qualité électronique. Leur coût est élevé, mais leur fiabilité et leur rendement sont excellents.



■ LE SILICIUM MULTICRISTALLIN

Obtenues par moulage de lingots ou, bientôt, par tirage de rubans, ces cellules sont beaucoup moins coûteuses et d'une fiabilité identique. Leur rendement est légèrement inférieur, mais leur forme rectangulaire permet d'obtenir des rendements globaux, au niveau du module, comparables à ceux du silicium monocristallin. Ces rendements sont d'ailleurs constamment améliorés.

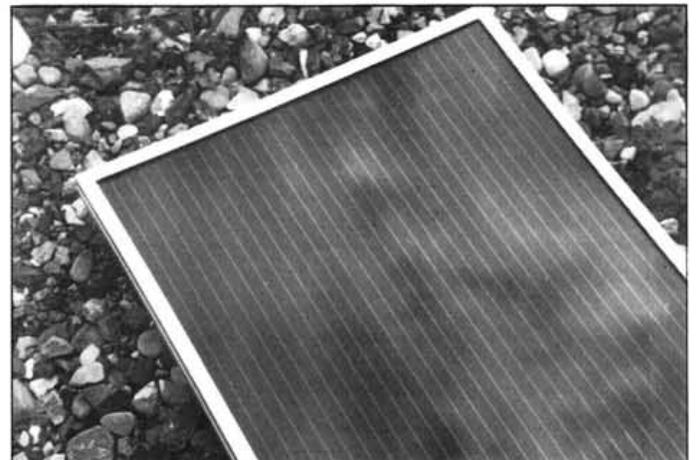
La France est le premier producteur européen et le troisième producteur mondial de modules en silicium cristallin. Ceux-ci couvrent toutes les applications dites "énergétiques".



2.3.2. La technologie silicium amorphe en couches minces

La France est l'un des pionniers de cette filière dont les applications actuelles sont encore réservées au domaine des "micro-puissances" (montres, calculatrices...) et des "mini-puissances" (horloges, programmeurs, mesures et automatismes...).

Leurs rendements de conversion et la stabilité de leurs performances dans le temps connaissent actuellement des progrès importants qui leur permettront de couvrir progressivement des applications "énergétiques".



2.3.3. Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques.

Il existe au niveau national soit des normes (France, Espagne, Australie), soit des spécifications techniques (JPL aux USA, spécification 501 de la CCE). La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) a créé en 1982 un comité technique (CT n° 82) chargé de préparer les normes internationales dans le domaine photovoltaïque. La norme CE1 12-15 relative aux modules silicium cristallin a été publiée.

En France, il existe une norme générique (NF C 57-100) et trois normes spécifiques :

- NF C 57-101 pour les modules à utiliser en climats équatoriaux
- NF C 57-102 pour les modules à utiliser en climats tropicaux
- NF C 57-103 pour les modules à utiliser en climats tempérés.

Ces normes définissent des essais d'environnement (chaleur, humidité), électriques et mécaniques qui permettent d'affirmer qu'un module satisfaisant à ces normes et placé dans les conditions climatiques correspondantes a une durée de vie probable d'une vingtaine d'années.

Il faut noter que toutes ces normes et spécifications ne s'appliquent qu'aux modules en silicium cristallin et qu'il n'existe pas encore de norme spécifique aux modules en silicium amorphe. Une norme internationale CEI concernant les photopiles à base de matériaux en couches minces (type Si amorphe) est en cours d'adoption.

■ LABELS DE QUALITE

Un label de qualité comme le label français "NF Composants Electroniques" garantit :

- la conformité des modules aux normes NF citées ci-avant : pour cela, le fabricant est obligé de faire des essais de conformité dans un laboratoire agréé au moins tous les six mois et à chaque fois qu'un changement intervient dans les spécifications ou la fabrication des modules.

- La présence d'une procédure interne d'assurance de la qualité, la continuité de l'application de cette procédure et la vérification par un opérateur compétent et indépendant de sa conformité à un cahier des charges initial agréé par le Service National de la Qualité du Ministère de l'Industrie.

L'existence d'un tel label (opérationnel en France depuis 1985) et de produits qui lui sont conformes permet donc un contrôle centralisé de la qualité et permet donc de se dispenser d'un contrôle qualité spécifique à chaque achat.

2.4. L'installation photovoltaïque

Un système photovoltaïque comporte les éléments suivants :

- le "panneau photovoltaïque" pouvant être constitué de plusieurs "modules"
- la batterie d'accumulateur si l'on souhaite un stockage de l'électricité
- la diode anti-retour qui évite la décharge des accumulateurs à travers le panneau solaire
- le régulateur de charge et de décharge
- les récepteurs fonctionnant en courant continu
- éventuellement un onduleur pour convertir le courant continu en courant 220 V alternatif.

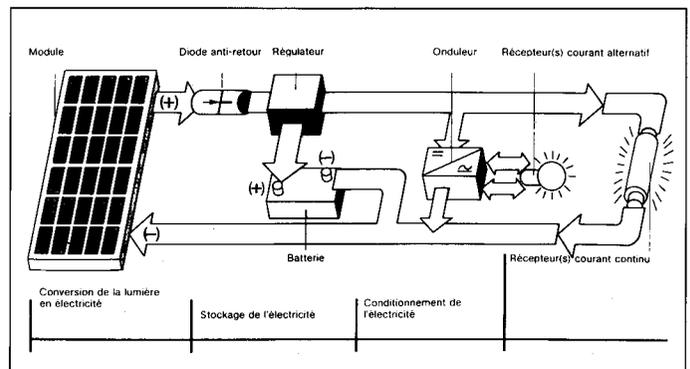


Figure 11 - Doc ADEME

2.4.1. Réalisation du générateur photovoltaïque

■ LE MODULE DE BASE

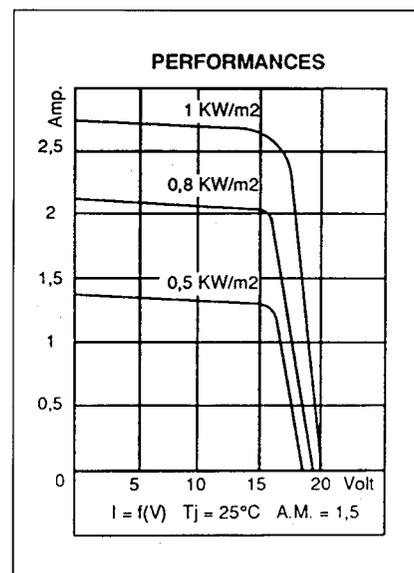


Figure 12

Exemple : PHOTOWATT BPX 47 451

Ce module pourra ainsi fournir, à une tension de 15 V et un éclairage de 800 W/m², un courant d'environ 2A.

■ LE PANNEAU PHOTOVOLTAIQUE

Les modules, tout comme les batteries peuvent être montés en série, en parallèle ou en série parallèle.

- Modules en série :
 - . les tensions s'ajoutent
 - . le courant reste celui d'un module
- Modules en parallèle :
 - . la tension reste constante
 - . les courants de chaque module s'ajoutent
- Modules en série/parallèle afin d'obtenir la tension et le courant (donc la puissance) souhaités.

■ IMPLANTATION DU PANNEAU SOLAIRE

Pour choisir l'implantation du panneau solaire, quatre éléments sont à considérer :

- l'orientation
- l'inclinaison
- l'ombre portée sur le panneau
- la distance panneau - batterie

2.4.2. Stockage de l'énergie

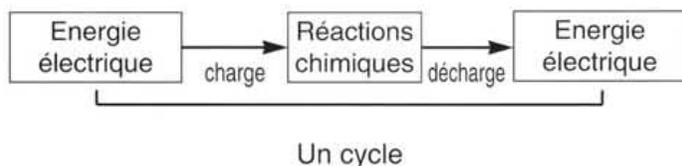
Les caractéristiques de l'énergie solaire imposent d'utiliser un organe de stockage de l'énergie électrique dans les installations autonomes.

Ses fonctions sont les suivantes :

Permettre un déphasage production/consommation : jour/nuit, courtes périodes de mauvais temps (quelques jours à 15 jours)

Permettre une puissance élevée (W), sur un temps court compatible avec la production journalière, avec une puissance crête installée faible.

■ PRINCIPE DE STOKAGE



TYPES

- accumulateurs Plomb/Acide (Pb/H₂ SO₄)
- accumulateurs Nickel-Cadmium (Ni Cd)

■ CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT PHOTOVOLTAIQUE

- **Décharge journalière : dj**
constante toute l'année si les besoins journaliers sont constants
on aura dj = 10 % à 20 % pour 4 à 8 jours d'autonomie
- **Décharge profonde : Dp**
c'est la décharge maximum de l'accumulateur qui n'est tolérable que quelques jours par an (1 à 3)

■ LES ACCUMULATEURS PLOMB/ACIDE (Pb/Pb SO₄)

L'**électrode positive** est une plaque en plomb renforcée par des nervures entre lesquelles sont disposés des oxydes de plomb.

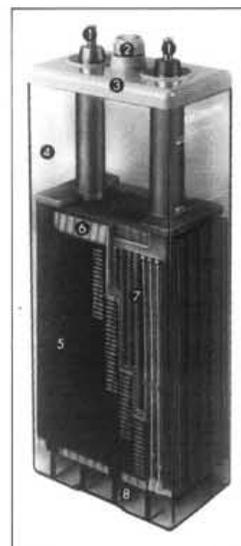
L'**électrode négative** est une plaque de plomb.

L'**électrolyte** est une solution d'acide sulfurique dont la densité varie en fonction de l'état de charge de la batterie.

TYPES UTILISABLES POUR LES APPLICATIONS PHOTOVOLTAIQUES :

- **batteries formées d'éléments stationnaires à plaque positive tubulaire (2 V) et grande réserve d'électrolyte** : Capacités courantes : de 1000 à 3000 AH. Ce type de batterie est le mieux adapté aux cycles journaliers et saisonniers rencontrés dans les systèmes PV.

Doc. Oldham



- **batteries formées d'éléments stationnaires à plaques planes (2V) et grande réserve d'électrolyte** : Capacités courantes : de 10 à 3000 AH. Ces batteries sont moins performantes que celles ci-dessus en nombre de cycles (durée de vie).

Fulmen



- **batteries plomb étanches sans entretien** (2,6 et 12 V) : Capacités courantes : 10 à 500 AH. Ces batteries limitent fortement les problèmes de maintenance.



Doc. Steco

- **batteries monobloc** dérivées de la batterie automobile. Ces batteries améliorées pour le solaire ont une aptitude au cyclage moins élevée mais sont adaptées aux petites installations.



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

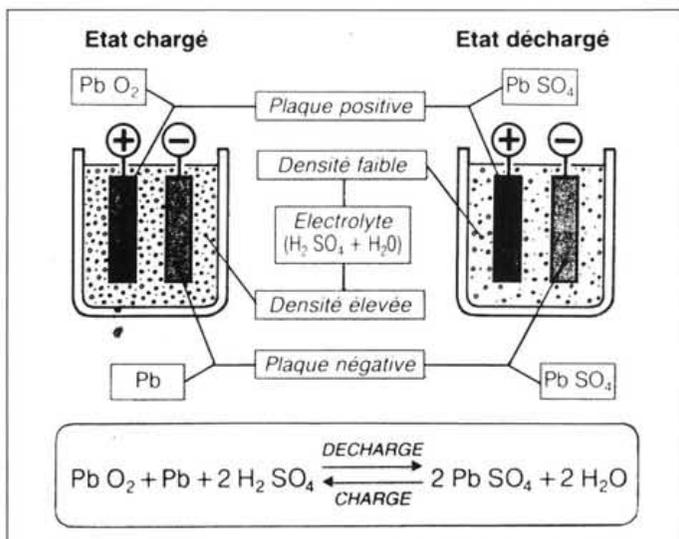


Figure 13

Tension nominale

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb est voisine de 2V.

Sa valeur varie entre 1,7 V et 2,4 V suivant l'état de charge.

La tension nominale des batteries au plomb sera un multiple de 2V (6, 12, 24, 48...).

Capacité d'un accumulateur

La capacité d'un élément d'accumulateur est la quantité d'électricité qu'un élément chargé peut fournir pendant la période de décharge, elle s'exprime en [Ah].

La capacité d'un élément est fonction du régime de décharge.

Plus le régime de décharge est élevé et plus la capacité diminue. En application photovoltaïque, le régime courant est C/100 soit pour une batterie de capacité 100 [Ah] par exemple, une intensité de décharge de 1 A.

CONSERVATION DE LA CHARGE (OU AUTO-DECHARGE)

C'est la perte de capacité en % de la capacité nominale lorsque la batterie n'est pas utilisée. Elle ne doit pas être supérieure à 3 % par mois.

RENDEMENT DE CHARGE/DECHARGE

C'est le rendement énergétique (Wh/Wh) ou faradique (Ah/Ah) lors d'un cycle complet de charge/décharge. La valeur moyenne sur une longue période est d'environ 70 %.

APTITUDE AU CYCLAGE

C'est le nombre de cycles journaliers de charge/décharge que peut supporter la batterie avant une perte donnée de sa capacité.

Les meilleures batteries utilisées en PV (batteries stationnaires à grande réserve d'électrolyte) ont un nombre de cycles garanti supérieur à 3000 pour une profondeur de décharge journalière de 10 % et de 1500 pour 20 % de décharge avant d'avoir une baisse de 20 % de leur capacité.

Les batteries moins bien adaptées ont des valeurs typiques de 1200 et 600 cycles pour ces mêmes valeurs de décharge.

On voit donc que la durée de vie maximale des meilleures batteries en usage photovoltaïque est d'environ 10 ans, soit beaucoup moins que les modules. **Elles constituent donc un maillon faible dans un système PV et leur définition, leur protection contre les surcharges et les décharges et leur entretien doivent faire l'objet de soins attentifs.**

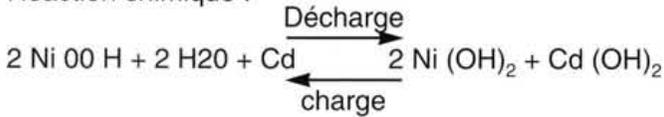
■ LES ACCUMULATEURS CADMIUM-NICKEL

Electrode positive : hydroxyde de nickel

Electrode négative : cadmium

Electrolyte : solution de potasse liquide ou gel

Réaction chimique :



Tension nominale : 1.2 V par accumulateur

Avantages :

- Ces accumulateurs acceptent les surcharges et les décharges profondes (alors que les batteries au plomb doivent être protégées contre les décharges profondes)
- ils peuvent être cyclés plusieurs centaines de fois jusqu'à décharge complète
- meilleure résistance aux très basses températures
- pas de régulateur (intéressant pour haute fiabilité et petites puissances).

Inconvénients :

- tension par élément : 1.2 V
- mauvais rendement énergétique de charge / décharge
- coût élevé, cependant acceptable sur les petits systèmes du fait des économies sur le régulateur (ex : lampe photovoltaïque) (coût multiplié par 5 par rapport aux accumulateurs au plomb)
- risque d'"excursions" de tension en fin de charge s'il n'y a pas de régulateur de fin de charge car la tension peut dépasser 18 V (risques éventuels de détérioration de certains récepteurs).

■ INSTALLATION DES BATTERIES

- maintenir toujours les batteries en position verticale
- éviter, durant les manipulations, de renverser l'acide des batteries
- ne jamais toucher les batteries avec des outils non isolés
- le local, où les batteries sont installées, doit être ventilé, calorifugé et non accessible aux enfants.

2.4.3. La Régulation

Son rôle : réguler

la charge
la décharge

 de la batterie

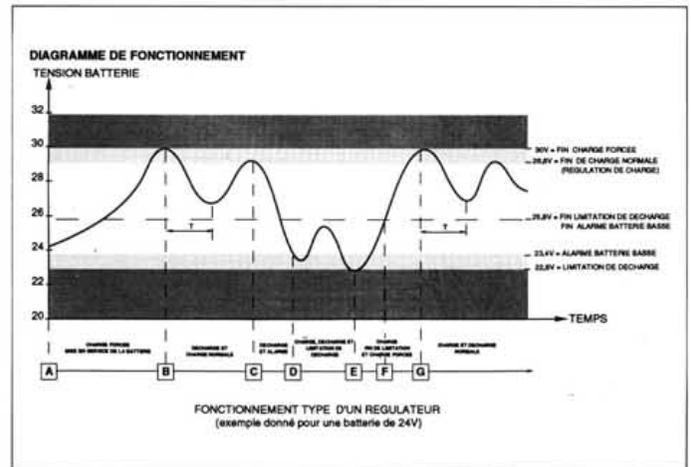
1) Il faut limiter la charge de la batterie, une surcharge entraînant :

- une perte en eau
- un vieillissement prématuré des accumulateurs

2) Il faut limiter la décharge de la batterie, une décharge profonde entraînant :

- la sulfatation des plaques
- un vieillissement prématuré des accumulateurs

Aujourd'hui se développent des régulateurs de charge / décharge à microprocesseur, modulaires dont la maintenance est simplifiée par débrogage sans intervention sur le câblage du générateur.



Doc. TOTAL ENERGIE

■ INSTALLATION DU REGULATEUR

Le local, où le régulateur est installé ainsi que les diverses boîtes de connexion, devra être un local sec.

2.4.4. Problèmes éventuels

■ RISQUE DE Foudre

Le régulateur doit être protégé contre les surtensions transitoires.

■ PROBLEME DU VOL DES MODULES

Ce problème peut être en partie résolu en rendant le démontage difficile :

- boulonnerie inaccessible
- boulonnerie à tête complexe (*photo ci-après*)
- cadre complet rendu solidaire
- rivetage, ...

