

# Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales

FNDAE n°12  
Document technique  
Réédition 2003

## Énergie photovoltaïque

Application au traitement  
de l'eau potable et  
des eaux usées  
en zones rurales

Eric MICHEL, Arnaud DEVES



**COSTIC**

Comité scientifique  
et technique des  
industries climatiques



Centre de Digne les bains  
Rue Lavoisier - ZI de Saint Christophe  
04000 Digne les bains  
Tél. : 04 92 31 19 30

*Photo de couverture : Installation de pompage de Zigliara (Corse)*

# SOMMAIRE

---

## **INTRODUCTION..... 3**

## **CHAPITRE 1 - RECENSEMENT D'INSTALLATIONS EXISTANTES ..... 4**

### **1.1 TYPES D'INSTALLATIONS RECENSÉES.....6**

### **1.2 ANALYSE DE QUELQUES INSTALLATIONS .....7**

## **CHAPITRE 2 - RÉGLEMENTATION ..... 9**

### **2.1 ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES ZONES RURALES .....9**

### **2.2 EAUX USÉES ET ASSAINISSEMENT .....9**

## **CHAPITRE 3 - L'ÉLECTRICITÉ SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ..... 10**

### **3.1 GÉNÉRALITÉS .....10**

#### **3.1.1 FONCTIONNEMENT D'UNE PHOTOPILE .....10**

#### **3.1.2 AVANTAGES DE LA CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE .....10**

#### **3.1.3 LES APPLICATIONS DE L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE .....10**

### **3.2 L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE.....11**

#### **3.2.1 LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE .....11**

#### **3.2.2 L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE .....11**

#### **3.2.3 LE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE .....12**

#### **3.2.4 PRODUCTION DE CELLULES ET DE MODULES .....13**

#### **3.2.5 NORMES ET SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES .....13**

### **3.3 LES COMPOSANTS D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE .....14**

#### **3.3.1 LE GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE .....14**

#### **3.3.2 STOCKAGE DE L'ÉNERGIE .....15**

#### **3.3.3 LA RÉGULATION .....19**

#### **3.3.4 PROBLÈMES ÉVENTUELS .....19**

### **3.4 MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT SIMPLE D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE.....20**

#### **3.4.1 PRINCIPALES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT .....20**

#### **3.4.2 ESTIMATION DE LA PUISSANCE CRÊTE NÉCESSAIRE.....20**

#### **3.4.3 COMPARAISON AVEC LES SOURCES D'ÉNERGIE CONCURRENTES .....22**

### **3.5 QUALITÉ D'INSTALLATION, ENTRETIEN, GARANTIE, ASSURANCES .....24**

#### **3.5.1 QUALITÉ D'INSTALLATION .....24**

#### **3.5.2 L'ENTRETIEN .....25**

#### **3.5.3 SÉCURITÉ.....25**

#### **3.5.4 SUIVIS ET CONTRÔLE DES INSTALLATIONS .....25**

#### **3.5.5 GARANTIES DES MATÉRIELS ENTRANT DANS LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES .....25**

#### **3.5.6 ASSURANCES DU MATÉRIEL .....26**

#### **3.5.7 SOURCES DE FINANCEMENT ENVISAGEABLES POUR LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES .....26**

<b><u>CHAPITRE 4 - ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES ZONES RURALES.....</u></b>	<b><u>27</u></b>
POMPAGE .....	28
CHLORATION.....	31
STÉRILISATION PAR RAYONS ULTRAVIOLETS .....	35
ÉLECTROVANNE .....	37
TÉLÉMESURE.....	38
SURPRESSEUR.....	41
BARRAGE.....	42
<b><u>CHAPITRE 5 - TRAITEMENT DES EAUX USÉES EN ZONE RURALE ....</u></b>	<b><u>43</u></b>
POSTE DE RELEVAGE.....	45
DÉGRILLAGE MÉCANIQUE .....	46
LITS BACTÉRIENS.....	47
DISQUES BIOLOGIQUES.....	48
LAGUNAGE NATUREL .....	49
TOILETTES SÈCHES .....	50
<b><u>CHAPITRE 6 - RÉSUMÉ .....</u></b>	<b><u>51</u></b>
<b><u>PRINCIPAUX INTERVENANTS ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE .....</u></b>	<b><u>52</u></b>
<b><u>AUTRES INTERVENANTS CITÉS .....</u></b>	<b><u>53</u></b>

# INTRODUCTION

---

**Produire une eau potable de qualité en zone rurale, traiter les eaux usées des petites collectivités**, ces actions sont des impératifs pour le développement des zones rurales et la protection de l'environnement. Des solutions techniques existent pour traiter l'eau potable et les eaux usées, mais nécessitent bien souvent le recours à une alimentation électrique.

Or, **l'alimentation électrique de ces sites rencontre de nombreuses contraintes** : éloignement, difficultés d'accès, environnement difficile. Le raccordement de ces sites au réseau de distribution peut alors s'avérer être d'un coût très élevé.

Des solutions de production décentralisée existent : les piles, les groupes électrogènes, les générateurs photovoltaïques et d'autres solutions mettant en œuvre une énergie renouvelable (pico-centrales hydroélectriques, éoliennes). Par rapport aux autres solutions **l'énergie photovoltaïque** présente les avantages suivants :

- Entretien réduit
- Autonomie (évite l'approvisionnement en carburant et limite le remplacement des piles)
- Respect de l'environnement (absence de bruit, réduction des infrastructures nécessaires)
- Possibilité d'adapter cette solution à tous les sites sous réserve de respecter certaines règles de mises en œuvre.

De plus, 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 et le traitement des eaux usées.

Le coût du watt produit étant cependant 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 recours à un générateur photovoltaïque résout les problèmes suivants :**

- Difficultés d'accès, isolement des sites
- Coût d'installation de lignes EDF élevé
- Coût d'exploitation élevé pour des équipements de production d'énergie décentralisée
- Manque de compétences techniques pour les opérations de maintenance : ces opérations sont simplifiées dans le cas d'un générateur photovoltaïque

Ce document présente les différentes solutions adaptées à une application de l'énergie solaire photovoltaïque. Il comprend trois parties :

1. un recensement des installations existantes dans le domaine du traitement de l'eau
2. une présentation de l'électricité photovoltaïque
3. des fiches de synthèse par type d'installation envisageable



# CHAPITRE 1 - RECENSEMENT D'INSTALLATIONS EXISTANTES

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats d'une enquête menée en 2002 auprès des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) et de délégations de l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME). Certaines installations sont issues d'enquêtes plus anciennes (1997 et 1999) auprès des mêmes interlocuteurs.

Ces enquêtes ont permis de recenser environ 250 installations photovoltaïques ayant trait à l'alimentation en eau potable ou au traitement des eaux usées en zones rurales.

**Tableau 1 – Installations photovoltaïques pour l'alimentation en eau potable et pour le traitement des eaux usées en zone rurale**

Département	Maître d'ouvrage ou site	Type d'installation ( ) nb d'installations
Aisne	Cuiry les Iviers	Chloration sur réservoir + éclairage + télégestion
Alpes de Haute Provence	Commune de Valavoire ONF – Gîte des Blaches	Stérilisation par rayonnements UV Pompage
Alpes Maritimes	Syndicat intercommunal de Coaraze	Stérilisation par UV de 2 sources
Ardennes	Réservoir de Villers Cernay et de Blagny Château d'eau de Gernelle Château d'eau de Foisches	Éclairage, chloration Chloration, éclairage, chambre des vannes Chloration, éclairage, télésurveillance
Ariège	Syndicat départemental des collectivités électrifiées d'Ariège : 7 Refuges et 1 cabane pastorale Château d'eau de Lieurac Château d'eau de Pauly	Alimentation d'un refuge / stérilisation UV d'eau potable / pompage (8) Télémesure Chloration / mesures
Aude	Syndicat Intercommunal du Sud Audois Maison Minford	Électrovannes pour injection du chlore gazeux Pompage
Cantal	Diverses Communes ND de Courson et Le Mesnil Durand	Transmetteurs de niveau d'eau (15) Chloration (2)
Corrèze	Bassignac, Chadirac, Rouchamp	Pompes doseuses de chlore (3)
Corse	Plusieurs sites en Corse du Sud Syndicat mixte des Agriates	Pompes doseuses de chlore (9) Mesures de débit / télétransmission (20) Pompage
Côte d'or	Thoisly le désert Pouilly en Auxois	Pompe doseuse de chlore Télésurveillance d'un réservoir
Creuse	Divers sites Divers sites Laiterie Chavegrand Saint Laurent et Faux Mazuras	Télésurveillance du réseau d'eau potable (6) Télémesure sur un réservoir isolé (5) Pompage en amont d'un site de traitement d'eaux usées par lagunage Chloration (2)
Finistère	St Nicolas des Glénans Commune de Tregarvan	Pompage Pompe doseuse de chlore (2)

Département	Maître d'ouvrage ou site	Type d'installation ( ) nb d'installations
	Syndicat mixte de l'Aulne Syndicat de Plozévet	Télémesure de comptage Électrovanne et comptage
Gard		Chloration d'un réservoir d'eau potable
Haute Garonne	Syndicat intercommunal des eaux de St Beat	Télégestion
Gers	Diverses communes	Mesures de niveau dans réservoirs (2)
Gironde	Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon	Motorisation de vanne sur réseau d'assainissement
Hérault	Diverses communes : Meze, Gigean, Villeveyrac	Aération de lagunes (traitement d'eaux usées)
Indre		Aménagements hydrauliques de barrages
Jura	Syndicats d'électrification rurale	Mesures sur château d'eau Transmission de niveau d'eau
Loir et Cher	Commune d'Ouzouer le Marché	Relevage d'eau pour station d'épuration par lagunage
Loire		Mesure sur réservoir d'eau
Lozère	Syndicat départemental d'électrification Syndicat intercommunal d'alimentation en eau potable du Causse de Sauveterre	Pompage eau potable (2) Pompe doseuse de chlore
Manche	Communes	Système de télésurveillance
Marne		Installations de télésurveillance
Haute Marne	Châteaux d'eau	Chloration (9)
Meurthe et Moselle	Commune de Tramont Saint André Vandeleuille SIE de Selaincourt SIE de Diarville SIE de Pulligny – Réservoir de Laneuveville SIE de Trey St Jean – Réservoir Tour de Seicheprey SIE de Trey St Jean – Réservoir semi enterré de la Croix des Carmes Tonnoy – Réservoir principal SIE de Champey Vittonville	Télémesure de niveau d'eau Pompe doseuse de chlore Pompe doseuse de chlore Pompe doseuse de chlore Télémesure de niveau d'eau Télétransmission Télétransmission Télétransmission Télégestion (en soutien de batteries classiques)
Moselle	Syndicat des eaux de Benamont	Télémesure de niveau de château d'eau - Télétransmission
Moselle	Syndicat des eaux du Pays des Étangs	Télémesure de niveau de château d'eau - Télétransmission
Nièvre	Association syndicale libre de Vauclaix SIAEP de Varzy, SIAEPA de Prémery  SIAEP de Varzy, SIAEPA de Prémery Communes de Brassy, Dun les Places, Saint Brisson  SIAEP Mhère Vauclaix Gacogne, SIAEP de Pannecièrre, SIAEP du Bazois, SIAEP du Val d'Aron, commune de Brassy	Commande d'une électrovanne Télégestion / pompage / stérilisation / télétransmission (2) Télégestion / pompage (2) Pompe doseuse de chlore sur réservoir (3) Télésurveillance de réservoir (9)

Département	Maître d'ouvrage ou site	Type d'installation ( ) nb d'installations
Puy de dôme	Diverses communes : St Julien la Geneste, Bussière près Pionsat, St Ferréol des Côtes, La Cellette	Pompe doseuse de chlore (7)
Pyrénées Atlantiques	Commune d'Albintze, de Larrau, de Mendive, d'Aussurucq	Pompage (6)
Bas Rhin	Wisches – Source du Tieffenbach	Chloration
Rhône	Société de Distributions d'Eau Intercommunales Rillieux Ferme	Pompes doseuses de chlore (19) Pompage + chloration
Saône et Loire	Diverses communes : Cuzy, Roussillon en Morvan, Anost, St Leger sous Beuvray, La grande Verrière	Chloration (6)
Savoie	Commune de Bonneval sur Arc – Refuge des Evettes Commune de Bonneval sur Arc – Refuge du Carro Bellecombe en Bauges SI de l'agglomération de Chambéry Commune de Barby	Refuge + stérilisation UV Toilettes sèches Pompe doseuse de chlore Mesure du niveau de la nappe Télémesure du niveau du réservoir
Haute-Savoie	Refuge du Parmelan – Dingy st Clair SDEI de St Jeoire en Faucigny	Refuge + toilettes sèches Pompe doseuse de chlore
Seine Maritime	Générale des Eaux	Installations de télégestion
Haute Vienne	Commune de Sauviat sur Vige	Télésurveillance
Yonne	Diverses communes : Chassignelles, Esnon	Désinfection UV (2)
Guadeloupe	Diverses communes	Pompage d'eau (9)
Guyane	Diverses communes	Pompage + chloration (9 installations en fonctionnement, 7 en projet, 3 à réhabiliter)
Mayotte	Diverses communes	Pompage pour l'irrigation
Nouvelle-Calédonie	Diverses communes	Pompage eau potable

## 1.1 Types d'installations recensées

Tableau 2 – Récapitulation des types d'installations recensées

<b>Traitement de l'eau potable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La chloration : essentiellement par pompes doseuses de chlore</li> <li>▪ La stérilisation par rayonnement ultraviolet</li> </ul>
<b>Pompage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En haute montagne : pompage au fil du soleil pour acheminer l'eau aux bétails (notamment dans les Pyrénées Atlantiques)</li> <li>▪ Sites isolés dans les DOM – TOM (Guyane et Guadeloupe)</li> <li>▪ Sites isolés en métropole</li> </ul>
<b>Télémesure</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mesures de niveau dans les châteaux d'eau ou les réservoirs d'eau potable</li> <li>▪ Comptage, mesure de débits</li> <li>▪ Télésurveillance d'installations</li> </ul>



<b>Gestion automatique ou télégestion d'installations techniques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Commande de l'ouverture de vannes</li> <li>▪ Commande de barrages hydrauliques (programme d'équipement dans l'Indre)</li> </ul>
<b>Traitement d'eaux usées</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Équipements techniques sur des opérations de lagunage : relevage des eaux usées, dégrillages</li> <li>▪ Procédés de traitements des eaux usées : aération de lagunes (voir les applications dans l'Hérault), toilettes sèches (notamment dans des refuges de haute montagne en Savoie)</li> </ul>

Les applications les plus courantes sont celles de télémesure, de traitement de l'eau potable et de pompage. Ces applications peuvent être regroupées sur un seul site et alimentées par le même générateur photovoltaïque. Ainsi un générateur peut alimenter une installation de chloration et assurer la télésurveillance du système. Dans les refuges, le générateur assure souvent le traitement de l'eau et l'alimentation énergétique d'autres besoins du refuge (éclairage, froid, alarmes...).

Ce document présente par la suite la plupart de ces applications ainsi que d'autres possibilités d'applications non rencontrées à ce jour en France.

## 1.2 Analyse de quelques installations

Pour 42 installations recensées, des informations sur les puissances crêtes et les coûts des installations sont disponibles et exploitées ci-après. La plupart de ces installations sont récentes et postérieures à 1997. Des comparaisons peuvent donc être effectuées.

**Tableau 3 – Puissances crêtes des installations recensées en fonction de l'usage**

Types d'installations	Nb d'installations étudiées	Puissance crête	Commentaires
Télémesure	8	100 à 500 Wc	
Motorisation de vannes	1	1 750 Wc	
Chloration (éventuellement avec télémesure)	10	80 à 300 Wc	Les installations de chloration seule sont équipées de générateurs de l'ordre de 100 Wc
Stérilisation UV seule	2	100 à 300 Wc	
Stérilisation UV (+ alimentation d'un refuge)	9	400 à 5 000 Wc	Ces installations équipent en priorité des refuges. La grande variété de ces refuges explique la large gamme de puissance installée.
Pompage (haute montagne)	7	2 000 à 4 000 Wc	Ces installations alimentent en eau potable des troupeaux. Les débits et les hauteurs de pompage sont élevés
Pompage (ferme)	2	200 à 400 Wc	Ces installations équipent un particulier et un petit gîte
Aération de lagunage (traitement d'eaux usées)	2	600 à 4 000 Wc	
Toilettes sèches	2	180 à 270 Wc	
Relevage d'eaux usées	1	360 Wc	

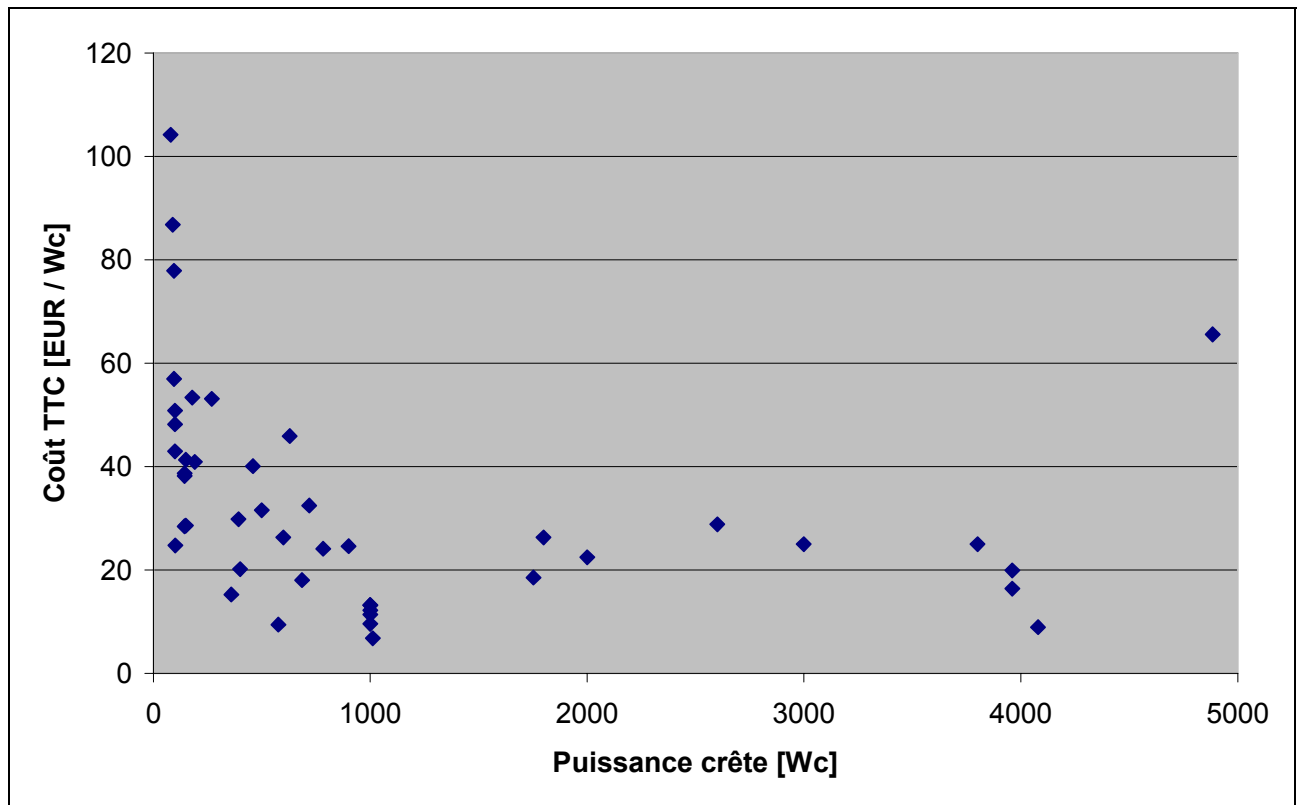


Figure 1 – Coût TTC d'un générateur photovoltaïque en fonction de la puissance crête installée<sup>1</sup>

Les coûts sont très variables pour les générateurs de puissance inférieure à 1 000 Wc. Pour ces sites, ce sont les frais inhérents au site à équiper qui sont prépondérants. Pour des sites dont la puissance crête est supérieure à 1 000 Wc, le prix s'établit dans une fourchette de 15 à 25 EUR TTC / Wc.

Ces résultats peuvent être rapprochés d'une étude<sup>2</sup> réalisée pour l'ADEME et EDF par PHK Consultants. Elle établit sur un échantillon de 92 installations les ratios suivants :

- Coût moyen TTC en métropole : 22,7 EUR / Wc
- Coût moyen TTC dans les DOM : 30,5 EUR / Wc

<sup>1</sup> Une installation n'apparaît pas sur cette figure. Elle présentait un coût de 500 EUR / Wc pour une puissance de 100 Wc. Ce coût extrêmement important n'est pas représentatif car il comprend le transport des matériels par hélicoptère pour accéder au site.

<sup>2</sup> Synthèse de l'audit des moyens de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables en sites isolés – ADEME – EDF – Décembre 2000

# CHAPITRE 2 - REGLEMENTATION

---

## 2.1 Alimentation en eau potable des zones rurales

Les eaux destinées à la consommation humaine sont réglementées par le décret 2001-1220 du 20 décembre 2001. Quelques unes des règles à respecter sont exposées ci-après.

- Prélèvement d'eau : l'utilisation d'eau prélevée dans le milieu naturel en vue de la consommation humaine par une personne publique ou privée, est autorisée par arrêté préfectoral.
- Protection du captage : autour de tous les captages d'eau destinée à la consommation humaine des périmètres de protection (mentionnés dans le code de la santé publique) doivent être déterminés par déclaration d'utilité publique.
- Qualité de l'eau : les eaux fournies par un réseau de distribution doivent respecter un certain nombre de critères physico-chimiques. Un traitement adapté (désinfection, traitement physico-chimique...) doit être mis en œuvre sur le réseau de distribution.
- Contrôle de la qualité de l'eau : le décret définit des programmes de contrôle de la qualité de l'eau ainsi que la périodicité de ces contrôles.

## 2.2 Eaux usées et assainissement

Les installations concernées par le présent document ont une capacité inférieure à 2 000 équivalents - habitants (EH)<sup>3</sup>. L'arrêté du 21 juin 1996 fixe les prescriptions techniques minimales relatives aux ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées pour des installations de moins de 2 000 EH. La circulaire du 17 février 1997 relative à l'assainissement collectif des communes pour des ouvrages de capacité inférieure à 2 000 EH donne les recommandations nécessaires à la conception de ces ouvrages.

Quatre étapes principales ressortent des textes :

1. Les collectivités doivent définir les zones d'assainissement collectif et les zones d'assainissement non collectif. Elles n'ont pas obligation de mettre en place une collecte, mais si elle est mise en place le traitement doit alors être approprié et réalisé avant le 31 décembre 2005.
2. La création d'une station d'épuration doit faire l'objet d'un Avant Projet Sommaire (APS) en vue de bien définir les besoins et de s'orienter vers les filières les mieux adaptées.
3. La construction d'une station d'épuration doit faire l'objet d'une déclaration (ouvrages de capacité comprise entre 200 et 2 000 EH) et se conformer aux règles d'urbanisme (PLU...).
4. Pour les installations soumises à déclaration, les contraintes suivantes doivent être respectées en vue d'un rejet minimum dans les eaux de surface :
  - Les effluents doivent au minimum être traités par voie physico-chimique,
  - La concentration maximale en DBO5 dans les eaux rejetées est de 35 mg/l,
  - Un dégrillage est imposé en amont des dispositifs de traitement,
  - Les collectivités doivent prévoir une auto surveillance de base. Pour les stations de moins de 1 000 EH elles doivent procéder à une analyse par an et pour celles comprises entre 1 000 et 2 000 EH à deux analyses. Ces dernières seront transmises à l'Agence de l'eau.

---

<sup>3</sup> 1 EH correspond à la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour. Il correspond par convention à 90 g/hab./j de matières en suspension, 57 g/hab./j de matière organique, 15 g/hab./j d'azote et 4 g/hab./j de phosphore. En général 1 EH est équivalent à 150 litres d'eau utilisés par jour.

# CHAPITRE 3 - L'ÉLECTRICITÉ SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

---

## 3.1 Généralités

La conversion photovoltaïque 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.



Photo 1 – Modules photovoltaïques – Alimentation d'électrovannes pour le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon – Photo ADEME

### 3.1.1 Fonctionnement d'une photopile

La conversion photovoltaïque se produit en soumettant la cellule photovoltaïque au rayonnement solaire. L'énergie reçue provoque un mouvement chaotique des électrons à l'intérieur du matériau. Si la cellule est formée de deux zones dont les concentrations en électrons, modifiées artificiellement, sont différentes, un champ électrostatique constant se produit. Un courant électrique continu est ainsi produit.

### 3.1.2 Avantages de la conversion photovoltaïque

- Aucune pièce en mouvement, ce qui limite les causes de pannes et élimine les nuisances sonores
- Absence de températures élevées et de fluides sous pression
- Très faible incidence sur l'environnement

### 3.1.3 Les applications de l'énergie photovoltaïque

Du fait des avantages présentés ci-dessus, l'énergie photovoltaïque est adaptée à une large gamme d'applications<sup>4</sup> : électrification rurale (éclairage, réfrigérateur...), télécommunications (relais hertzien, relais T.V., relais radiotéléphone...), pompage, signalisation (routière, aérienne,

---

<sup>4</sup> « Les applications de l'électricité solaire photovoltaïque » - plaquette ADEME - 2001

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...).

## 3.2 L'énergie photovoltaïque

### 3.2.1 La cellule photovoltaïque

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 substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée 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)

La fabrication des cellules s'effectue à partir de lingots de silicium. Ces lingots sont découpés en fines couches. Des couches de type P ou N sont créées en y diffusant du brome ou du phosphore. Une cellule solaire est alors 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. Des contacts métalliques en forme de grille (contacts avant et arrière) sont déposés sur chaque face de la cellule.

### 3.2.2 L'effet photovoltaïque

Un photon (particule de lumière) dont l'énergie est suffisante et heurtant un atome peut arracher un électron. Il crée ainsi 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 donc générateur électrique sous l'effet de la lumière. La collecte de courant se fait par les contacts métalliques (électrodes). Si ces électrodes sont reliées à un circuit extérieur, un courant circule. Le courant produit par une cellule photovoltaïque est un courant continu.

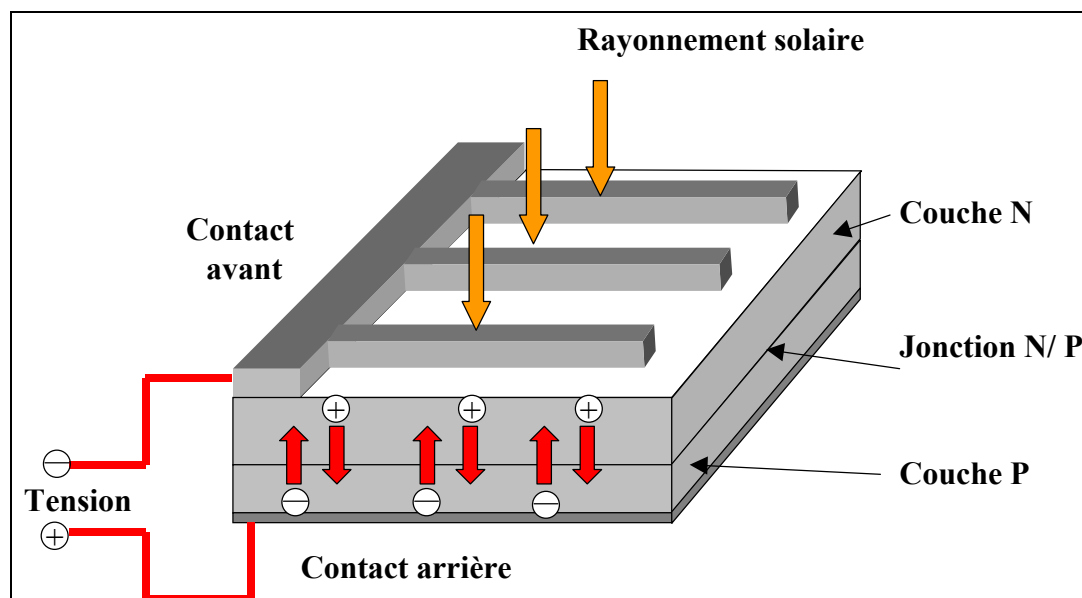


Figure 2 – Schéma de principe du fonctionnement d'une cellule photovoltaïque



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

### 3.2.3 Le module photovoltaïque

Les cellules sont connectées en série en soudant le contact avant de chaque cellule au contact arrière de la suivante. Ces ensembles de cellules sont encapsulés dans des modules étanches qui les protègent de l'humidité, des chocs et des nuisances : il s'agit du module photovoltaïque. La face avant du module est généralement en verre et la face arrière en tedlar. Des modules bi-verre (deux faces en verre) existent, essentiellement pour l'intégration aux bâtiments.

Le nombre de cellules qui composent le module dépend de la tension et de la puissance que le module doit avoir. Généralement les modules fournissent une tension de 12 ou 24 volts. Sur le marché, il existe principalement des modules ayant une puissance crête de 10 Wc jusqu'à 110 Wc.

#### ✓ Principales caractéristiques d'un module

- **Puissance crête** : La puissance électrique produite par un module varie en fonction de l'ensoleillement. La puissance crête d'un module est la puissance délivrée sous un éclairement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et pour une température de jonction de la cellule de 25°C. En France, l'éclairement de 1 000 W/m<sup>2</sup> correspond à l'éclairement maximum reçu, la puissance crête correspond donc à une puissance maximum que le module peut fournir.
- **Rendement** : Le rendement dépend des conditions de fonctionnement électrique (intensité, tension) des cellules. Il passe par un maximum à ce que l'on appelle le point de puissance maximale.
- **Caractéristique courant - tension d'un module** : Le courant produit par un module varie conformément aux diagrammes courant / tension. Il dépend de l'éclairement solaire et de la température des cellules.

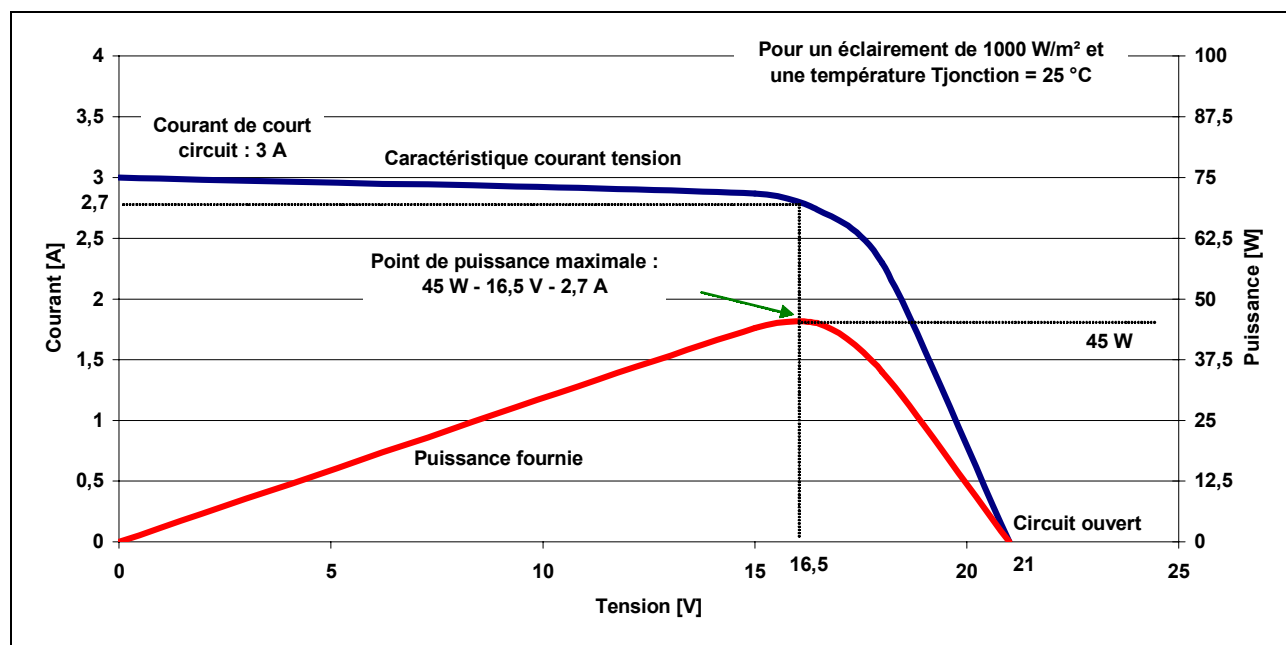


Figure 3 – Exemple de caractéristique courant - tension d'un module

### 3.2.4 Production de cellules et de modules

Il existe essentiellement quatre technologies de cellules photovoltaïques présentées ci-après.

<b>Silicium multicristallin</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 50% du marché mondial</li><li>▪ Rendement des cellules commercialisées : 12 à 14%</li><li>▪ Moins cher que le mono cristallin</li><li>▪ Applications : modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (relié au réseau ou en sites isolés)</li></ul>
<b>Silicium monocristallin</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 35 % du marché mondial</li><li>▪ Procédé de fabrication bien maîtrisé</li><li>▪ Rendement des cellules commercialisées : 14 à 16%</li><li>▪ Très bonne tenue de l'efficacité sur la durée</li><li>▪ Matière première largement disponible</li><li>▪ Matériau sans influence sur l'environnement</li><li>▪ Faible coefficient d'absorption : utilisé en couches épaisses, il nécessite de grandes quantités de matériau</li><li>▪ Applications : modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissance, espace</li></ul>
<b>Silicium amorphe</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ 9 % du marché mondial</li><li>▪ Dépôts de couches minces sur du verre</li><li>▪ Rendement des cellules commercialisées : 6 à 8%</li><li>▪ Applications : appareils de faible puissance, production d'énergie embarquée (calculatrices, montres...), modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)</li></ul>
<b>Couches minces</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Technologie émergente</li><li>▪ Rendements inférieurs au silicium cristallin mais les coûts sont potentiellement inférieurs (cette technologie nécessite moins de matériaux semi-conducteurs)</li><li>▪ Application : modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)</li></ul>

Dans les applications en sites isolés liées au traitement de l'eau, les modules photovoltaïques utilisés sont en silicium multicristallin ou monocristallin.

### 3.2.5 Normes et spécifications concernant les modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques doivent être conformes aux conditions d'homologation définies dans les normes CEI (Commission Électrotechnique Internationale) 1215 et CEI 1646. Les modules doivent notamment pouvoir supporter les conditions ambiantes suivantes :

- Température : de - 40 °C à + 85°C
- Humidité : jusqu'à 100 % d'humidité relative
- Vent : jusqu'à 190 km / heure
- Grêlons : diamètre inférieur à 25 mm
- Atmosphère salée

Ils doivent pouvoir être installés sans cadre pour l'intégration en toiture par exemple.

Les fabricants assurent régulièrement une garantie de 10 ans sur la production d'énergie de leurs modules. Une baisse de puissance de 10% au cours de ces dix années est anormale.

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), des essais 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.

### 3.3 Les composants d'un système photovoltaïque

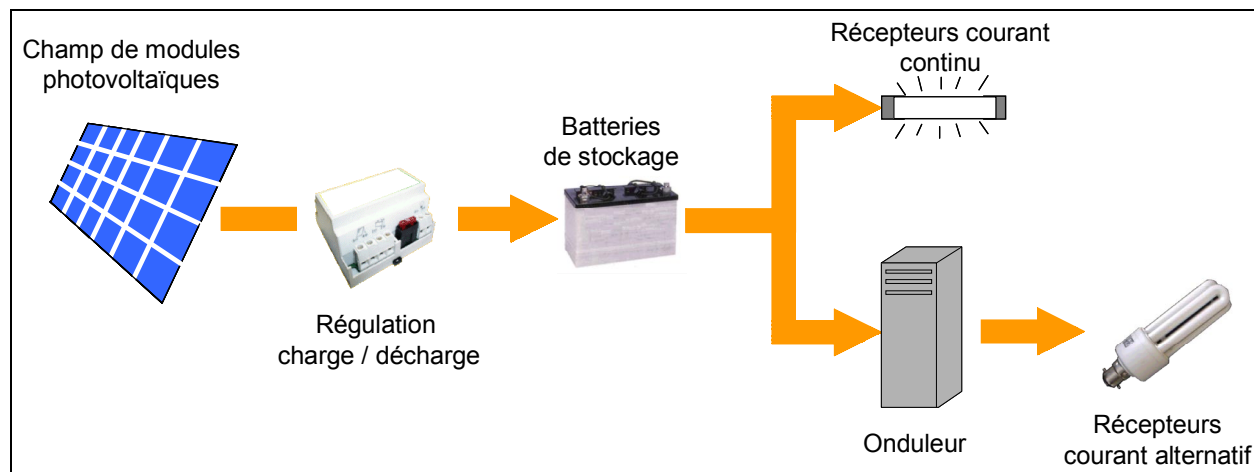


Figure 4 – Schéma général d'une installation photovoltaïque avec stockage d'énergie

#### 3.3.1 Le générateur photovoltaïque

✓ *Le module de base*

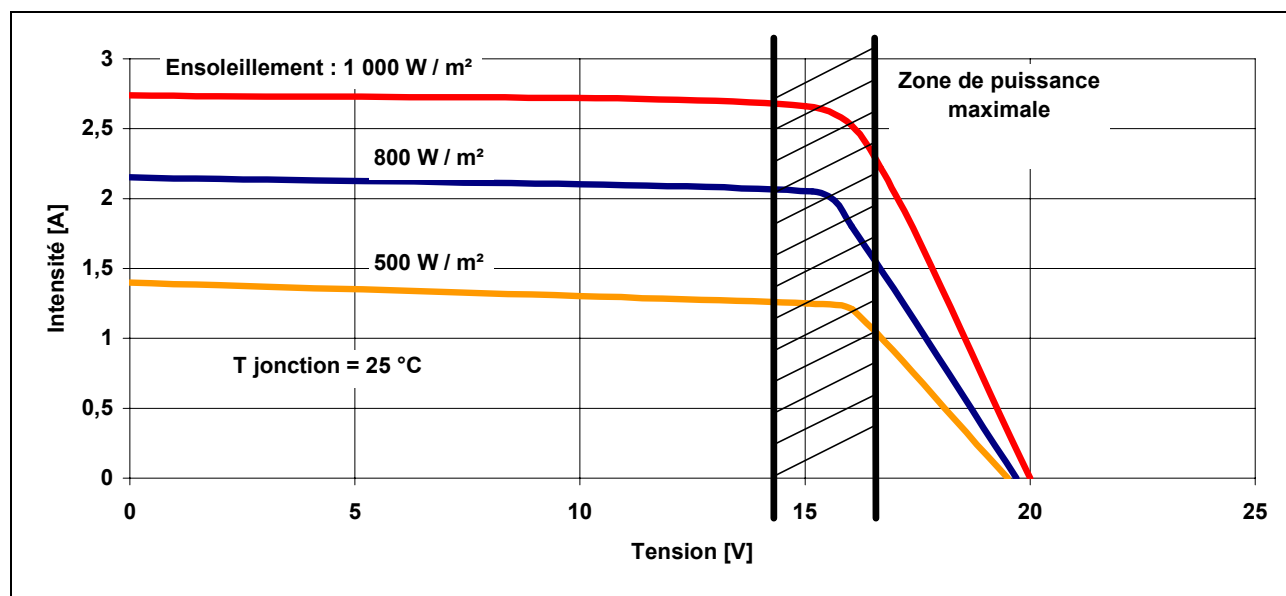


Figure 5 – Exemple de caractéristique courant - tension d'un module

Les caractéristiques courant-tension donnent les performances des modules. Ici, le module pourra fournir, à une tension de 15 V et un éclairement de 800 W/m<sup>2</sup>, un courant d'environ 2 A. Le but est de fonctionner dans la zone où le module produit sa puissance maximale, c'est à dire autour de 15 V, ce qui correspond à la tension des batteries d'accumulateurs plomb-acide (voir ci-après).

### ✓ *Le champ de modules photovoltaïques*

Les modules peuvent être montés en série, en parallèle ou en série parallèle.

<b>En série</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ les tensions s'ajoutent</li> <li>▪ le courant reste celui d'un seul module</li> </ul>
<b>En parallèle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ la tension reste constante</li> <li>▪ les courants de chaque module s'ajoutent</li> </ul>
<b>En série / parallèle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pour obtenir la tension et le courant (donc la puissance) souhaités.</li> </ul>

### ✓ *Implantation du champ de modules*

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

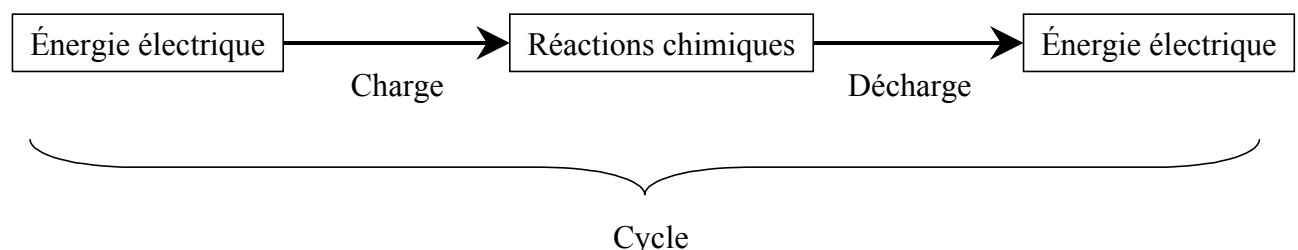
- **L'orientation du champ de modules** : favoriser au maximum une orientation sud dans l'hémisphère Nord
- **L'inclinaison des modules** : en fonction de la période de fonctionnement de l'installation, il faudra favoriser soit le fonctionnement été (inclinaison de 30° sur l'horizontale) soit le fonctionnement hiver (inclinaison de 60°) soit faire un compromis (inclinaison de 45°)
- **L'ombre portée sur le champ de modules** : un relevé de profils d'ombre sur le site est primordial au démarrage du projet afin de contrôler la qualité de l'ensoleillement
- **La distance modules – batteries** : En courant continu basse tension, les chutes de tension peuvent être importantes. Une distance importante entre les modules et la batterie peut rendre nécessaire la pose de câble de sections importantes (10 ou 16 mm<sup>2</sup> voire plus). Il faut donc limiter au maximum la distance entre le champ de modules et les usages en courant continu.

### 3.3.2 **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 entre la production et la consommation : jour/nuit, courtes périodes de mauvais temps (quelques jours à 15 jours) ;
- Permettre une puissance élevée, sur un temps court, compatible avec la production journalière, avec une puissance crête installée faible.

### ✓ *Principe de stockage*



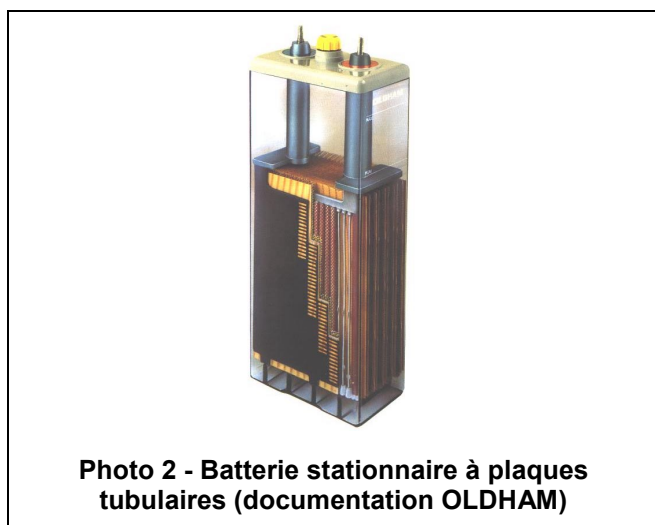
2 types de batterie sont utilisés dans les applications photovoltaïques :

- Accumulateurs plomb / acide (Pb / Pb SO<sub>4</sub>) ;
- Accumulateurs nickel / cadmium (Ni Cd).

- ✓ *Caractéristiques de fonctionnement photovoltaïque*
  - **Décharge journalière** : Dj. Dans le cas de besoins journaliers constants, cette décharge est constante. Pour une autonomie du système compris entre 4 et 8 jours, cette décharge sera de l'ordre de 10 à 20 % ;
  - **Décharge profonde** : Dp. Il s'agit de la décharge maximale de l'accumulateur qui n'est tolérable que quelques jours par an (1 à 3 jours par an).
- ✓ *Les accumulateurs plomb/acide (Pb / Pb SO4)*

**Tableau 4 – Types de batteries utilisables pour les applications photovoltaïques**

Type de batteries	Capacités	Particularités
Batteries formées d'éléments stationnaires à plaque positive tubulaire (2V) et grande réserve d'électrolyte	1 000 à 3 000 Ah	Bien adaptées aux cycles journaliers et saisonniers rencontrés dans les systèmes photovoltaïques
Batteries formées d'éléments stationnaires à plaques planes (2V) et grande réserve d'électrolyte	10 à 3 000 Ah	Durée de vie plus courte que les précédentes (nombre de cycles inférieur)
Batteries plomb étanches sans entretien (2V, 6V et 12 V)	10 à 500 Ah	Nécessitent très peu de maintenance.
Batteries monobloc dérivées de la batterie automobile	10 à 500 Ah	Aptitude au cyclage moins élevée Réservées aux petites installations



### Principe de fonctionnement

L'électrode positive est une plaque en plomb renforcée par des nervures entre lesquelles sont disposées 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.



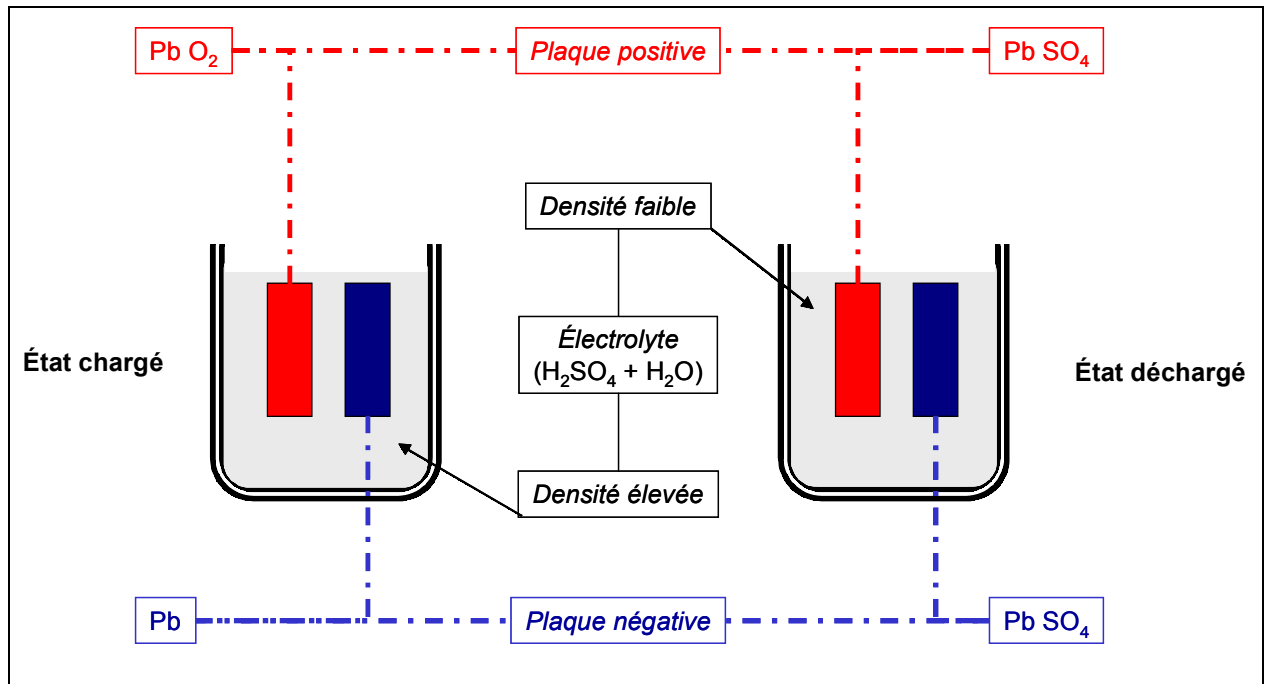


Figure 6 - Principe de fonctionnement d'un accumulateur plomb / acide

### Tension nominale

La tension aux bornes d'un élément d'accumulateur au plomb est voisine de 2 V. Sa valeur varie entre 1,7 V et 2,4 V suivant l'état de charge. La tension nominale des batteries au plomb sera donc un multiple de 2 V (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 ampères-heures [Ah]. La capacité d'un élément est fonction du régime de décharge. Plus un régime de décharge est élevé et plus la capacité diminue. Les fabricants d'accumulateurs proposent des courbes présentant la capacité de l'accumulateur en fonction du courant de décharge. Ce courant est indiqué par le rapport C/n, C étant la capacité de l'accumulateur.

Un accumulateur de capacité 100 Ah à C/100 pourra délivrer 100 Ah avec un courant de décharge de C/100 soit 1 ampère. Il pourra donc délivrer 1 ampère pendant une heure. Attention : si le courant de décharge est supérieur à 1 ampère, la capacité sera inférieure à 100 Ah.

### Conservation de la charge (ou auto-décharge)

C'est la perte de capacité en pourcentage de la capacité nominale lorsque la batterie n'est pas utilisée. Pour une batterie en bon état de fonctionnement, elle ne doit pas être supérieure à 3% par mois.

### Rendement de charge / décharge

Il s'agit du rendement énergétique (exprimé en [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

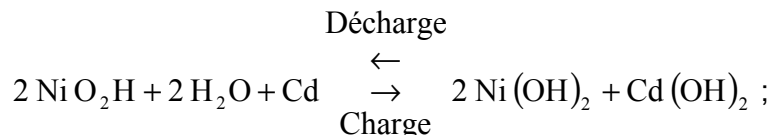
C'est le nombre de cycles journaliers de charge / décharge que peut supporter la batterie avant une perte donnée de sa capacité. Les meilleures batteries utilisées en photovoltaïque (batteries stationnaires à grande réserve d'électrolyte) ont un nombre de cycles garanti supérieur à 3 000 pour une profondeur de décharge journalière de 10% et de 1 500 pour 20% de décharge journalière avant de perdre 20% de leur capacité.

Les batteries moins bien adaptées ont des valeurs typiques de 1 200 et 600 cycles pour ces mêmes valeurs de décharge.

La durée de vie maximale des meilleures batteries en usage photovoltaïque (environ 10 ans) est très inférieure à celle des modules. Elles constituent donc un maillon faible dans un système photovoltaïque. C'est pourquoi leur définition, leur protection contre les surcharges et les décharges profondes et leur entretien doivent faire l'objet de soins attentifs.

✓ *Les accumulateurs cadmium / nickel*

- **Électrode positive :** hydroxyde de nickel
- **Électrode négative :** cadmium
- **Électrolyte :** solution de potasse liquide ou gel
- **Réaction chimique :**



- **Tension nominale :** 1,2 V par accumulateur.

Avantages :	Inconvénients :
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Résistance aux surcharges et aux décharges profondes (alors que les batteries au plomb doivent être protégées contre les décharges profondes)</li> <li>▪ Possibilité de réaliser plusieurs centaines de cycles sans détériorer la batterie</li> <li>▪ Meilleure résistance aux très basses températures</li> <li>▪ Pas de régulateur (intéressant pour haute fiabilité et petites puissances)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tension par élément : 1,2V</li> <li>▪ Mauvais rendement énergétique de charge / décharge</li> <li>▪ Coût élevé (coût multiplié par 5 par rapport aux accumulateurs au plomb), cependant ce coût est acceptable sur les petits systèmes du fait des économies sur le régulateur (ex. : lampe photovoltaïque)</li> <li>▪ Risque " d'excursions " de tension en fin de charge s'il n'y a pas de régulateur de fin de charge car la tension pour une batterie de 12 V peut dépasser 18 V (risques éventuels de détérioration de certains récepteurs)</li> </ul>

✓ *Installation des batteries*



**Photo 3 - Local batteries pour une aération de lagunes à Méze (34) - 1 220 [Ah]  
Photo APEX**

Les batteries doivent être placées dans un coffre ou dans un local technique dédié. Le coffre ou le local doivent être conçus pour résister à l'acide et être ventilés pour évacuer les émissions de gaz. Si les batteries sont installées dans un local, celui-ci doit être indépendant et de taille suffisante pour les manipuler aisément et en toute sécurité. Le site choisi doit de préférence être à l'abri du rayonnement solaire.

Des règles de sécurité strictes doivent être observées : il faut prendre garde aux manipulations d'éléments et d'acide, aux inversions de polarité et aux courts-circuits, à ne pas faire tomber d'outils entre les cosses.

### 3.3.3 La régulation

Son rôle : **réguler la charge et la décharge de la batterie**. Une surcharge de la batterie plomb acide provoque une perte en eau et un vieillissement prématuré des accumulateurs. Une décharge profonde entraîne la sulfatation des plaques et un vieillissement prématuré des accumulateurs.

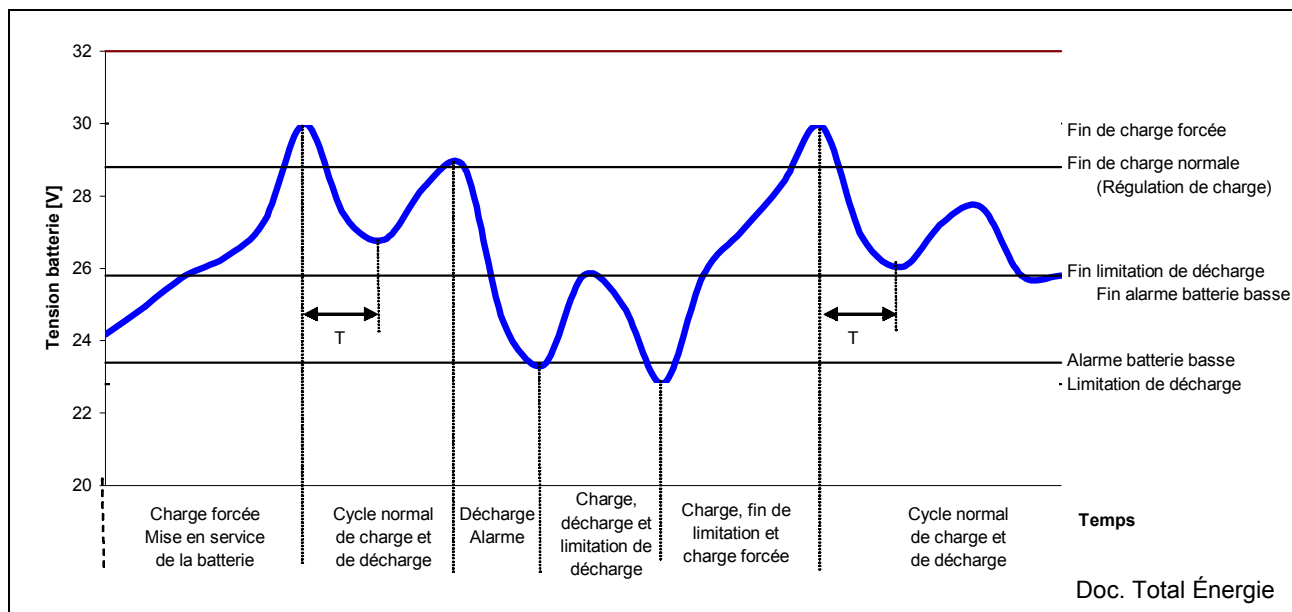


Figure 7 - Fonctionnement type d'un régulateur<sup>5</sup>

Les régulateurs peuvent être équipés d'un module de télétransmissions des données afin de contrôler à distance le bon fonctionnement de l'installation.

**Installation :** Le régulateur, l'onduleur éventuel pour convertir le courant continu en courant alternatif, le chargeur de batteries éventuel doivent être implantés de préférence en dehors de l'enceinte batterie dans un local sec. La longueur maximum du câble batterie/armoire doit être inférieure à 6 mètres. Les câbles d'interconnexion de ces différents appareils entre eux ainsi que les arrivées des câbles provenant des modules et de la batterie doivent cheminer sous goulottes ou être posés sur des chemins de câbles.

### 3.3.4 Problèmes éventuels

#### ✓ Foudre

Le régulateur doit être protégé contre les surtensions transitoires

#### ✓ Vol

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

- Boulonnerie inaccessible
- Boulonnerie à tête complexe
- Cadre complet rendu solidaire
- Rivetage...



Figure 7 – Exemple de visserie antivol

<sup>5</sup> Ceci est un exemple de régulation possible, d'autres modes de fonctionnement existent.

## 3.4 Méthode de dimensionnement simple d'un système photovoltaïque

Principes de base :

*Réduire les consommations sans réduire le service rendu.*

### 3.4.1 Principales règles de dimensionnement

- N'utiliser le générateur photovoltaïque que pour les usages spécifiques de l'électricité, l'éclairage, les télétransmissions, les pompes
- Rejeter les applications thermiques de l'électricité (chauffage, cuisson)
- Choisir les chaînes de puissance les plus courtes : éviter si possible les onduleurs
- Adapter la tension en courant continu, en jouant sur les assemblages de modules :
  - 12 V pour  $P_c < 150 \text{ Wc}$
  - 24 V pour  $150 \text{ Wc} < P_c < 1000 \text{ Wc}$
  - 48 V pour  $P_c > 1000 \text{ Wc}$
- Choisir des récepteurs à haut rendement : lampes basse consommation, réfrigérateurs sur-isolés...

### 3.4.2 Estimation de la puissance crête nécessaire

Soient :

- $E_j$  : l'énergie moyenne journalière nécessaire pour le fonctionnement des équipements à courant continu
- $E_i$  : le rayonnement solaire global journalier reçu dans le plan des modules
- $P_c$  : la puissance crête des modules.

✓ *Formule simplifiée*

$$P_c = \frac{E_j}{0,6 \cdot E_i} \quad \text{ou} \quad E_j = 0,6 \times E_i \times P_c$$

Avec :  $E_j$  en [Wh / jour]  
 $E_i$  en [kWh / m<sup>2</sup> / j]  
 $P_c$  en [Wc]

Cette formule est utilisable pour un générateur photovoltaïque fonctionnant sur batteries. Pour un usage au « fil du soleil », sans batteries, le coefficient 0,6 doit être remplacé par 0,75.

**Quand l'installation doit fonctionner toute l'année ou en hiver seulement :**

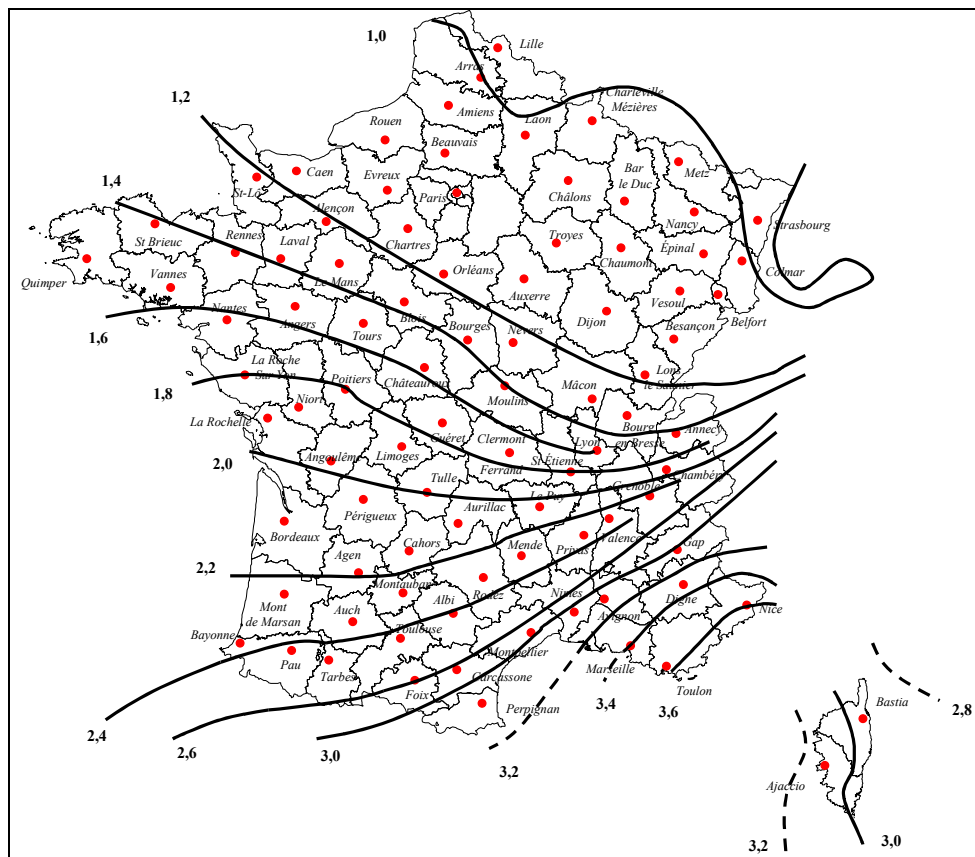
L'inclinaison du panneau photovoltaïque sera de 60° sur l'horizontale en métropole. L'installation est dimensionnée sur le mois de décembre.

**Quand l'installation est prévue pour fonctionner en été :**

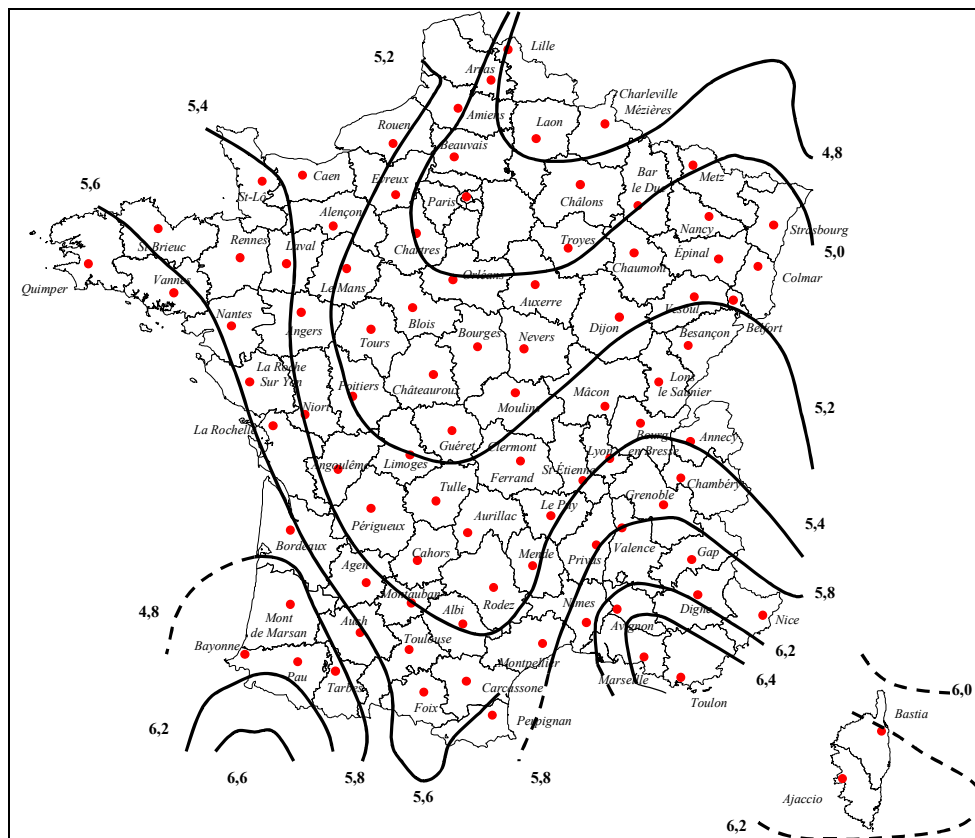
L'inclinaison du panneau photovoltaïque sera de 30° sur l'horizontale en métropole. L'installation est dimensionnée sur le mois de mai.

✓ **Rayonnement solaire global**

Les valeurs de l'énergie incidente en France pour le mois de mai et de décembre sont données ci-après.



**Figure 8 - Rayonnement solaire global reçu par un plan incliné de 60° sur l'horizontale - Orienté au sud - Énergie moyenne quotidienne [kWh/m². jour] - Mois de décembre - D'après l'Atlas Européen du rayonnement solaire**



**Figure 9 - Rayonnement solaire global reçu par un plan incliné de 30° sur l'horizontale - Orienté au sud - Énergie moyenne quotidienne [kWh/m². jour] - Mois de mai - D'après l'Atlas Européen du rayonnement solaire**



✓ *Estimation de la capacité de stockage (méthode simplifiée)*

- Nombre de jours d'autonomie (Nj) : variera selon le lieu géographique et l'application de 4 jours à 1 mois
- Capacité utile : consommation moyenne x nombre de jours d'autonomie
- Capacité réelle : capacité utile / Dp (Dp : pourcentage de décharge profonde entre 70 et 80 %).

Il faut s'assurer que la décharge journalière (Dj) est de l'ordre de 10 à 20% soit au minimum Nj = 5 jours.

$$C \text{ réelle [Wh]} = \frac{Nj \times Ej}{Dp}$$

$$C \text{ réelle [Ah]} = \frac{Nj \times Ej}{Dp \times V}$$

Avec V : tension aux bornes de la batterie

Il faut choisir la batterie de capacité nominale immédiatement supérieure, avec un courant de décharge adapté aux besoins.

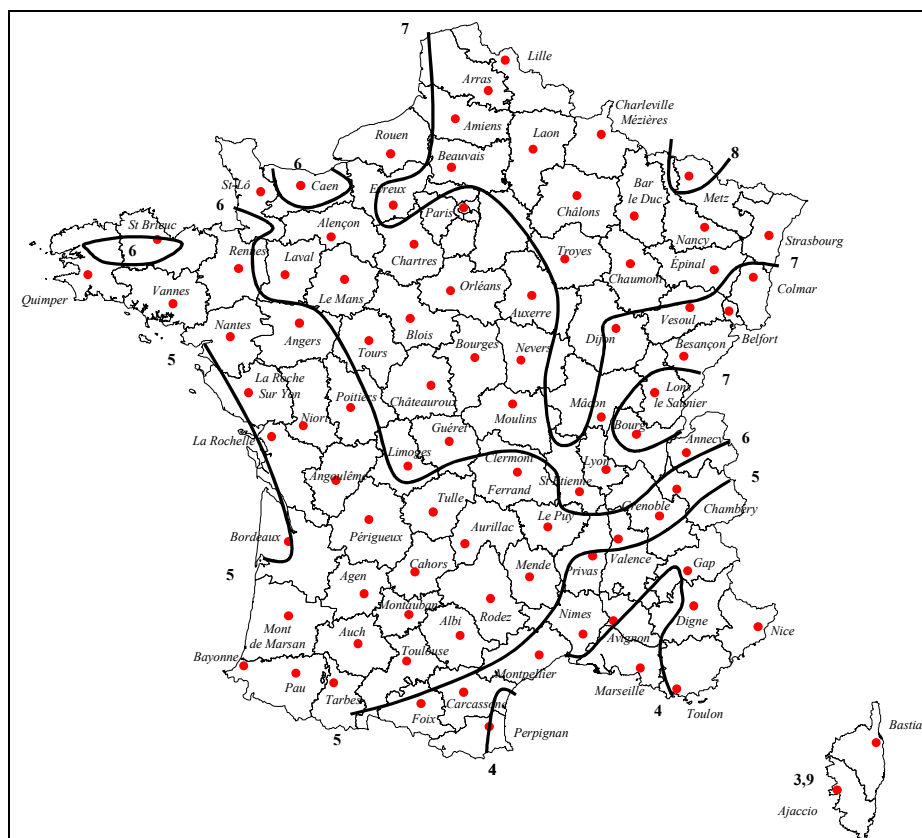


Figure 10 - Nombre de jours consécutifs où la durée d'insolation a été inférieure à une heure - Nombre minimal de jours des séquences se produisant en moyenne 3 fois par an - D'après le gisement solaire en France - Direction de la Météorologie - Décembre 1980

### 3.4.3 Comparaison avec les sources d'énergie concurrentes

✓ *Compétitivité du générateur photovoltaïque par rapport au réseau EDF*

#### Coût du raccordement au réseau (source EDF - Données 1<sup>er</sup> mai 2002)

Il s'agit du ticket bleu pour des puissances inférieures ou égales à 18 kW<sup>6</sup>.

- 747 EUR ht si la distance au réseau est inférieure à 30 m ;

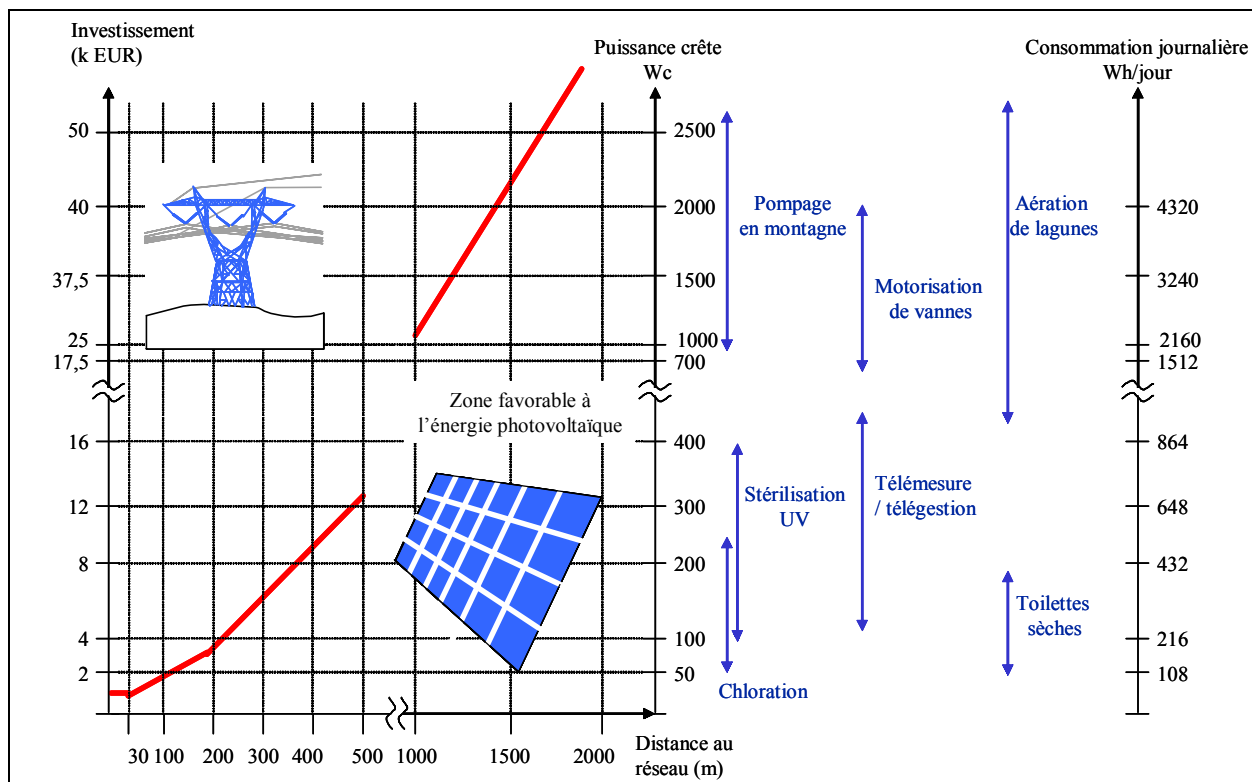
<sup>6</sup> Pour une puissance supérieure à 18 kW et inférieure à 36 kW, le principe reste le même. Le coût du premier seuil (distance inférieure à 30 mètres) est porté à 1 006,16 EUR, les autres coûts restent inchangés.

- 15,09 EUR ht / m à rajouter jusqu'à 200 m ;
- 30,16 EUR ht / m à rajouter au delà et jusqu'à 700 m.

Pour une distance L supérieure à 700 mètres, le montant du ticket est comparé au coût réel des travaux de raccordement. La participation demandée au client correspond au montant le plus faible.

Ces coûts ne sont pas les coûts de revient réels mais des coûts forfaitaires quelle que soit la zone (plaine, montagne, centre ville). Il n'y a pas de surcoût pour les transformateurs et les autres équipements annexes.

✓ *Domaine de rentabilité de l'électricité photovoltaïque par rapport au réseau EDF*



**Figure 11 - Domaine de rentabilité de l'électricité photovoltaïque par rapport au réseau EDF <sup>7</sup>**

La figure 11 précise, en fonction de la taille de l'installation photovoltaïque envisagée, la distance entre le site et le réseau à partir de laquelle une installation photovoltaïque devient envisageable avec un coût d'investissement inférieur à celui du coût du raccordement au réseau.

**Exemple** : une installation de chloration nécessiterait un générateur photovoltaïque de 150 Wc. Si cette installation est située à 400 mètres du réseau, son raccordement représenterait un coût supérieur à celui d'un générateur photovoltaïque.

<sup>7</sup> Hypothèses utilisées :

Coût d'investissement de l'installation photovoltaïque : 40 EUR ht/Wc jusqu'à 400 Wc, 25 EUR ht/Wc jusqu'à 1 500 Wc, 20 EUR ht/Wc au-delà.

Consommation journalière : basée sur un rayonnement de 3,6 kWh / j / m<sup>2</sup> (midi de la France en décembre). L'énergie est calculée par la formule  $E_j = 0,6 \times E_i \times P_c$

### ✓ Analyse économique comparative

La comparaison économique entre diverses solutions énergétiques ne doit pas se faire sur le seul poste d'investissement mais il est nécessaire de calculer un coût annuel de fonctionnement.

Coût total annuel = coût actualisé d'amortissement + coût de fonctionnement

**Tableau 5 – Postes de dépense à prendre en compte pour une comparaison économique des solutions énergétiques**

		Générateur photovoltaïque	Réseau EDF	Groupe électrogène	Piles alcalines
Postes d'investissement	A	Générateur Transport Génie civil Montage Onduleur éventuel	Raccordement EDF Taxe de raccordement Protection foudre	Génie civil Montage Cuve	Coût initial Montage
	B			Groupe	
	C	Batteries	Batteries de secours	Batteries	
Investissement total		A + C	A + C	A + B + C	A
Amortissement annuel actualisé selon un taux d'intérêt et fonction de la durée de vie des éléments	D	A sur 15 ans	A sur 20 ans	A sur 15 ans	
	E			B sur 5 000 heures	
	F	C sur 5 ans	C sur 5 ans	C sur 5 ans	
Amortissement total annuel		D + F	D + F	D + E + F	
Coût de fonctionnement annuel	G	Entretien (1 à 2 visites par an)	Abonnement Consommation	Carburant Transport Entretien du groupe Pièces et main d'œuvre	Changement des piles N fois par an
Coût annuel total		D + F + G	D + F + G	D + E + F + G	N x A

## 3.5 Qualité d'installation, Entretien, Garantie, Assurances

### 3.5.1 Qualité d'installation

Pour l'installation d'un générateur photovoltaïque, des spécifications techniques sont données dans un guide issu d'une collaboration entre EDF, l'ADEME et la profession en 1997 : « Directives générales pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée ». Ce document s'adresse à tous les intervenants du secteur, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, constructeurs, installateurs, exploitants et agents de maintenance.

Ces directives ont pour objectif d'être un guide depuis l'identification du besoin énergétique à satisfaire jusqu'à l'identification des produits techniquement les mieux adaptés dans le respect des contraintes économiques. Elles constituent une aide pour :

- Choisir un système d'électrification rurale décentralisée adapté au site à équiper

- Spécifier un système pour un site donné
- Préparer l'exploitation et la maintenance d'un système d'électrification rurale décentralisée

### 3.5.2 L'entretien

Afin de prévenir tout défaut sur un générateur solaire photovoltaïque, il est nécessaire d'inspecter, au moins une fois par an, l'ensemble des composants le constituant.

Composants	Actions de maintenance
<b>Les modules solaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nettoyage (à l'eau claire) de la face avant</li> <li>▪ Élagage des buissons ou arbres pouvant faire de l'ombre sur les modules</li> <li>▪ Resserrage éventuel des visseries</li> <li>▪ Éventuellement, une mesure du courant de court circuit par modules permet de contrôler l'homogénéité des performances des modules et de détecter d'éventuels modules défectueux</li> </ul>
<b>Le câblage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vérification de l'étanchéité des boîtes de connexion et de jonction</li> <li>▪ Nettoyage des contacts en cas d'oxydation des cosses au niveau de la boîte de connexion</li> </ul>
<b>La régulation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrôle des fusibles</li> </ul>
<b>Les batteries d'accumulateurs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrôle visuel : niveau d'électrolyte, nettoyage des connexions des accumulateurs</li> <li>▪ Contrôle de l'état de charge à l'aide d'un pèse-acide</li> <li>▪ Recharge périodique d'égalisation</li> </ul>

### 3.5.3 Sécurité

Il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une application électrique. Il faut donc, durant toutes les opérations d'entretien, déconnecter les sources de courant (couverture de modules avec matériau opaque, déconnexion des batteries...)

### 3.5.4 Suivis et contrôle des installations

Des systèmes de suivis des installations se développent. Il s'agit de systèmes d'acquisition de données et de télétransmissions par liaison téléphonique ou radio. Ces produits permettent de mieux suivre les installations et de détecter facilement les pannes éventuelles. Ils contribuent à simplifier la maintenance et à améliorer le service rendu mais aussi à mieux connaître le fonctionnement sur site des installations.

### 3.5.5 Garanties des matériels entrant dans les installations photovoltaïques

Équipement	Durée de garantie
<b>Modules</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5 ans pour la tenue mécanique des modules</li> <li>▪ 10 ans ou plus pour la puissance électrique fournie</li> <li>▪ Chaque fabricant a sa propre durée de garantie liée à ses conditions</li> </ul>
<b>Batteries, Régulateur, Onduleur, Convertisseur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2 ans</li> </ul>

### **3.5.6 Assurances du matériel**

L'assurance de l'installation dépendra beaucoup des compagnies d'assurances et des contrats. Les risques couverts pourront être :

- Bris de glace (certaines compagnies le couvrent, d'autres n'assurent que portes et fenêtres verticales mais pas les vitres inclinées)
- Grêle
- Poids de la neige
- Tempête
- Incendie
- Chute directe de la foudre sur les panneaux (couvert chez certaines compagnies)
- Dommages électriques dus à la foudre pour l'installation intérieure
- Vol des éléments extérieurs et vandalisme (couvert chez certaines compagnies)

### **3.5.7 Sources de financement envisageables pour les installations photovoltaïques**

#### **✓ Soutien financier en zone d'électrification rurale**

Le FACE (Fonds d'amortissement des charges d'électrification) peut participer au financement des installations qui répondent aux critères suivants :

- Résidence principale, soutien d'une activité économique, intérêt public manifeste, etc.
- Intérêt économique par rapport à la solution d'extension ou de renforcement des lignes électriques existantes.

L'aide du FACE représente, en 2003, 65 % du montant du projet. Des systèmes d'aides complémentaires existent (récupération de TVA, subventions de l'ADEME). Le bénéficiaire de l'installation participe au minimum à 5 % du montant des travaux.

Le futur bénéficiaire doit formuler sa demande de financement auprès de sa mairie. Les délégations régionales de l'ADEME peuvent l'aider dans sa démarche.

En cas d'accord de financement par le FACE, le syndicat d'électrification du lieu a la fonction de maître d'ouvrage. La réalisation des travaux est conforme à la procédure des marchés publics. Le syndicat d'électrification désigne un maître d'œuvre indépendant chargé des appels d'offre et du suivi des travaux. L'installation est prise en concession par EDF pour son exploitation. Le bénéficiaire de l'installation lui verse une somme forfaitaire fonction de la quantité moyenne d'énergie délivrée.

#### **✓ Soutien financier en zone d'électrification dite de « régime urbain »**

En zone d'électrification dite de « régime urbain », EDF et l'ADEME ont mis en place une procédure de financement des installations. Les critères de choix sont les mêmes qu'en zone d'électrification rurale.

EDF et l'ADEME participent au financement à hauteur de 35 % chacun du montant des travaux. Des systèmes d'aides complémentaires peuvent s'appliquer. En général, le montant total des subventions en régime urbain est de l'ordre de 70 à 95 %.

L'utilisateur doit formuler sa demande d'aide à EDF. EDF assure alors la maîtrise d'ouvrage et se charge des différentes démarches. Après réception des travaux, l'installation est prise en concession par EDF pour son exploitation dans les mêmes conditions qu'en zone d'électrification rurale.

#### **✓ Soutien financier dans l'environnement bâti**

Des systèmes d'aides existent aussi pour les installations intégrées au bâtiment et raccordées au réseau. Ces systèmes ne s'appliquent pas à l'objet de cette brochure et ne sont pas détaillés ici.

# CHAPITRE 4 - ALIMENTATION EN EAU POTABLE DES ZONES RURALES

---

Les sites concernés ici sont des sites isolés, c'est à dire non raccordés au réseau

Les besoins des zones rurales en matière d'alimentation en eau potable sont divers :

- Pompage : pour acheminer une eau potable au site de consommation, ou une eau non potable au site de traitement
- Le traitement de l'eau : par chloration ou rayonnement ultraviolet
- La télégestion, télémesure, ...



Figure 12 – Alimentation d'une installation de pompage – Estive de Bergons (Hautes Pyrénées) – Photo APEX – BP SOLAR

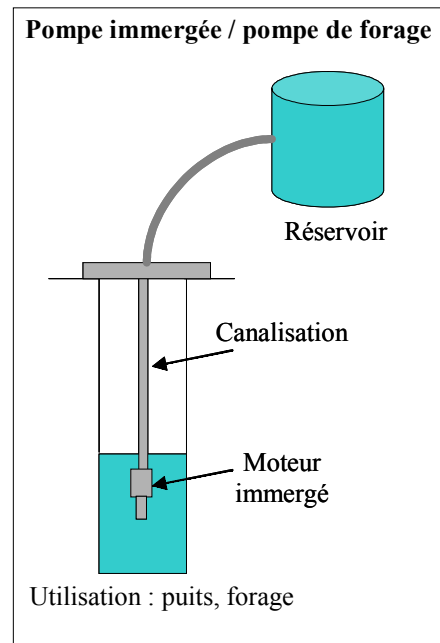
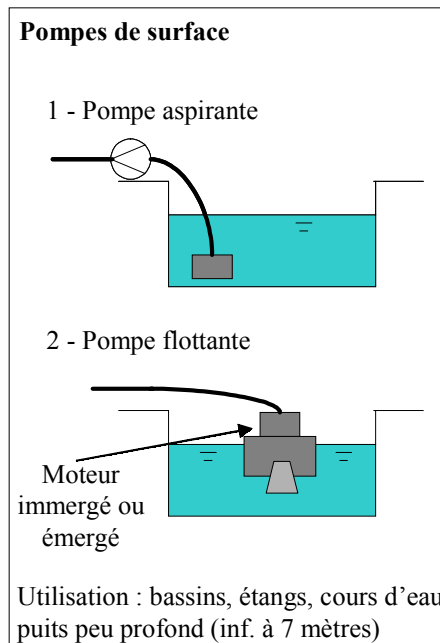


# POMPAGE

## PRESENTATION

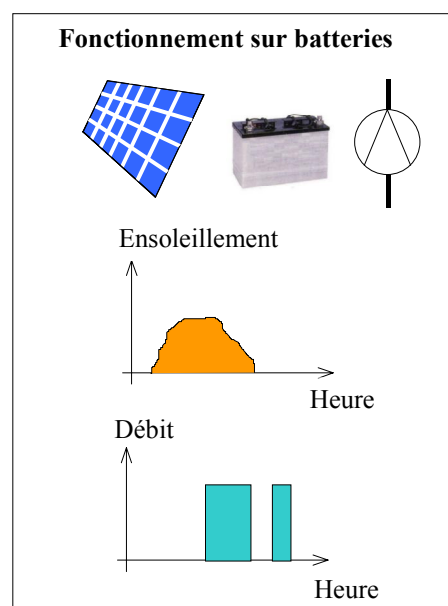
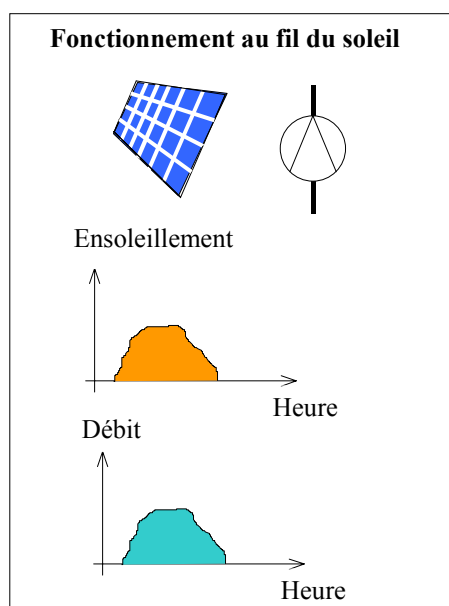
Sous le terme général pompage, différentes applications sont regroupées. Les différences entre les types de pompage photovoltaïque résident dans la source d'où provient l'eau (rivière, puits, forage...) et dans le mode de fonctionnement de l'installation (sur batteries ou au fil du soleil).

### Sélection de la pompe :



Les pompes peuvent être volumétriques ou centrifuges. Les pompes volumétriques sont réservées aux applications à faible débit et grande hauteur.

### Modes de fonctionnement



Lorsqu'un stockage de l'eau est possible, l'installation de pompage photovoltaïque peut fonctionner au fil du soleil. Le générateur photovoltaïque ne nécessite pas alors de stockage d'énergie sur batteries d'accumulateurs.

Cette option permet de limiter le coût de l'installation. Le pompage au fil du soleil n'est pas adapté aux régimes particuliers (applications domestiques à débit faible, applications particulières avec une hauteur manométrique totale (HMT) élevée,...). Dans ces cas, le pompage sur batterie sera préféré.

### Conversion de l'énergie

Les installations de grandes tailles utilisent en général des pompes centrifuges alimentées en courant alternatif triphasé. Ce courant est obtenu par l'intermédiaire d'un onduleur à fréquence variable en fonction de l'ensoleillement. L'onduleur impose alors une tension de fonctionnement au générateur photovoltaïque qui correspond au maximum de puissance.

## DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR

**Énergie nécessaire au pompage** : l'énergie quotidienne à fournir  $E_j$  [Wh/jour] pour pomper  $Q$  m<sup>3</sup>

d'eau par jour à une HMT moyenne de  $H$  mètres est de :  $E_j = \frac{2,725 \times Q \times H}{r}$  (r est le rendement du système de pompage, en général r est compris entre 50 et 60 %). Compte tenu de ce rendement, 1 wattheure fourni à la pompe permet de pomper environ 200 litres d'eau pour une hauteur manométrique totale (HMT) égale à 1 mètre.

### Puissance crête à installer :

Cette puissance crête est calculée en utilisant les formules de dimensionnement en page 20.

### Exemples de dimensionnement :

La société GRUNDFOSS a développé un système de pompe immergée adapté à une alimentation par modules photovoltaïques. Quelques exemples de performances sont donnés ici (fonctionnement au fil du soleil, ensoleillement de 6 kWh/m<sup>2</sup>.jour) :

<b>Hauteur [mètres]</b>	20	50	20
<b>Débit [m<sup>3</sup>/jour]</b>	15	15	30
<b>Puissance crête [Wc]</b>	400	900	900

## EXEMPLES DE COUTS

Une pompe immergée SHURFLO 120 W / 24 V pouvant fonctionner au fil du soleil et assurant un débit de 440 l/h pour une hauteur de 70 mètres coûte environ 700 euros ht. L'adaptateur d'impédance adapté coûte environ 150 euros. Divers opérateurs de la filière photovoltaïque (Total Énergie, APEX BP Solar, Énergies nouvelles Entreprise...) proposent des kits de pompage solaire : pompe + modules + adaptateur d'impédance.

### Exemples d'installations :

- Pompage au fil du soleil à Larrau (Pyrénées Atlantiques) réalisée en 1999.
  - Puissance crête : 3 800 Wc
  - Période de fonctionnement : été
  - Puissance de la pompe : 4 kVA
  - Caractéristiques : HMT – 140 mètres, Débit – 15 m<sup>3</sup> / jour
  - Coût de l'installation : 95 000 EUR ht.

- Alimentation d'un réservoir de desserte d'eau pour le village de Desges (Haute Loire)



Besoins : 13 m<sup>3</sup>/jour

Puissance crête : 1 kWc

Fonctionnement sur batteries : 600 Ah en C100

Date de mise en service : 1996

*Photo Transénergie*

- Stations mobiles de pompage dans la plaine de La Crau (Bouches du Rhône)

Équipement de 25 bergeries avec des pompes volumétriques installées sur des remorques mobiles

Fonctionnement été

Puissance crête : 100 Wc

Équipement développé par la société APEX BP SOLAR.



## MAINTENANCE

La maintenance des motopompes comprend les points suivants :

- Nettoyage de la végétation éventuelle autour de la pompe
- Pompes immergées : la maintenance est quasiment nulle. Un contrôle de l'état de la pompe permet de détecter la nécessité de la démonter pour procéder à un nettoyage ou à une révision.
- Pompe flottante : contrôle du bon coulissement sur le support
- Pompe volumétrique : contrôle du niveau d'huile
- Vérification de fonctionnement : mesures de débit en fonction de l'ensoleillement et comparaison avec les mesures effectuées lors de la mise en route

## ACTEURS :

Spécialiste pompage solaire : APEX BP SOLAR, TOTAL ENERGIE, VERGNET

Fabricants de pompes : GRUNDFOSS (pompes immergées à courant alternatif), SHURFLO (pompes à courant continu)

# CHLORATION

## PRESENTATION

La potabilisation des eaux en zone rurale passe souvent par la chloration. Elle s'effectue par dosage d'hypochlorite de sodium (« eau de Javel ») ou par hydroéjection de chlore gazeux. La première application nécessite l'emploi d'une pompe doseuse, la deuxième la présence d'une électrovanne. Dans les deux cas, les besoins énergétiques sont faibles. La solution photovoltaïque peut s'avérer rentable pour de nombreuses applications isolées.

La chloration possède un avantage majeur : elle a un effet rémanent. La quantité de chlore à injecter est déterminée par un professionnel en fonction de la qualité de l'eau brute. Le but de ce dosage est de conserver un taux de chlore libre résiduel suffisant à l'aval du traitement. L'injection doit se faire au niveau du réservoir pour que le chlore ait le temps de réagir.

**Point important** : le chlore n'est efficace que dans une eau dont le pH est compris entre 6,5 et 8. L'expertise d'un professionnel est nécessaire pour déterminer le traitement adapté.

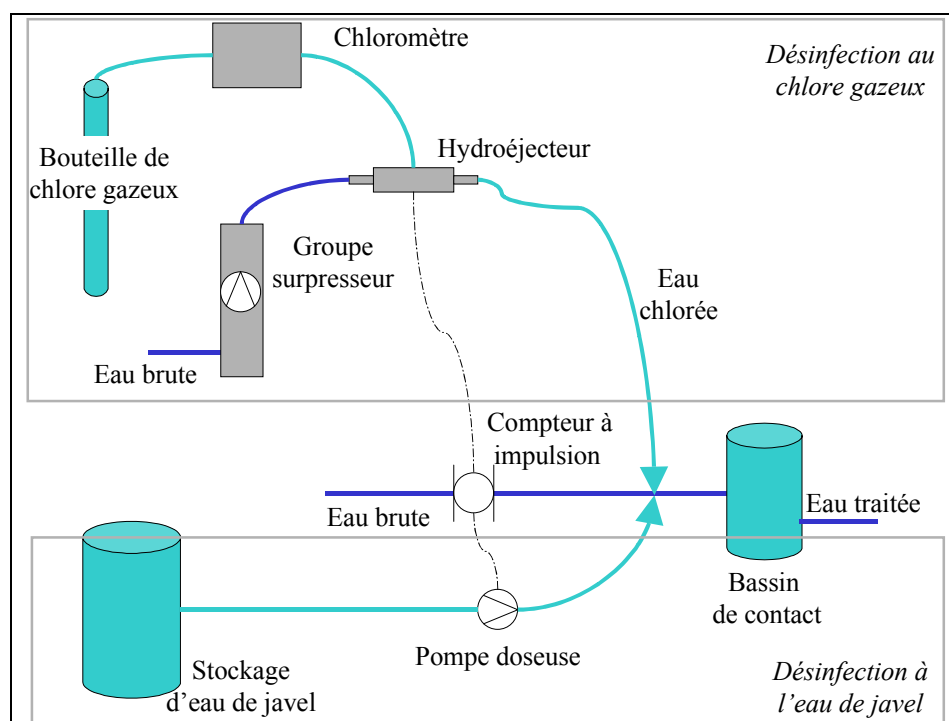


Figure 13 – Schéma de principe : désinfection au chlore gazeux et désinfection à l'eau de javel

### Injection de chlore gazeux :

Le chlore gazeux présente les avantages suivants

- Meilleure efficacité de la chloration : il s'agit d'un mélange homogène instantanément efficace pour la destruction des germes. Tout le chlore injecté est transformé en chlore libre actif, contre seulement 50% pour la solution d'hypochlorite de sodium
- Stockage réduit : le produit est concentré et se conserve bien
- Coût de fonctionnement : la chloration par chlore gazeux coûte deux fois moins cher que par eau de Javel

Le chlore gazeux est livré et stocké sous forme liquéfiée dans des bouteilles sous pression. Par connexion sur la bouteille, le chlore gazeux est soutiré pour être mélangé grâce à un hydroéjecteur

à une eau de service, ce qui permet la production d'eau chlorée. Dans cette phase, des conditions minimales de pression d'eau sont nécessaires. Un surpresseur permet de remonter cette pression. L'eau chlorée est ensuite injectée dans le bassin de contact (voir Figure 13).

Cette solution est réservée à des débits relativement importants : 150 à 500 m<sup>3</sup>/j. En zone rurale, les pompes doseuses de chlore sont la solution la plus fréquente.

### Conversion de l'énergie

Les pompes doseuses habituellement utilisées existent en version courant continu.

## DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR

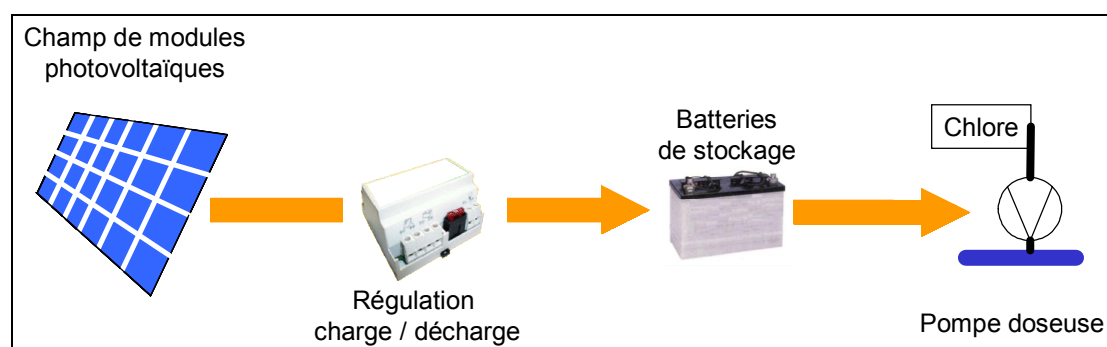


Figure 14 – Schéma de principe d'une installation de chloration par pompe doseuse de chlore

Pour une installation en zone rurale avec des débits d'eau traités limités (quelques m<sup>3</sup> par heure en pointe), les besoins énergétiques sont faibles. La puissance nominale d'une pompe doseuse est de l'ordre de 20 watts en période de fonctionnement et 1 ou 2 Watts en période de veille.

- Puissance crête du générateur : **environ 100 Wc**
- Capacités des batteries : de l'ordre de **100 Ah en C/100**
- **Attention** : si le générateur doit alimenter d'autres équipements tels que des alarmes de dysfonctionnement ou des télé-contrôles, ces équipements doivent évidemment être pris en compte dans le dimensionnement

Avec du chlore gazeux : le chloromètre et l'électrovanne ne consomme que quelques watts. Cependant, si un surpresseur est nécessaire, la puissance crête du générateur photovoltaïque sera nettement plus importante (cf. page 41).

## COUTS

<b>Pompe doseuse PERMO GENIUS 6 C</b>	1 195 EUR ht
<b>Canne d'injection</b>	185 EUR ht
<b>Compteur d'eau à émetteur d'impulsions + boîtier d'asservissement</b>	700 EUR ht
<b>Coût d'installation</b>	Suivant le site
<b>Modules 100 Wc + batteries + régulateur</b>	1 500 EUR ht
<b>Total</b>	A partir de 3 600 EUR ht
<b>Système de chloration par eau de javel de marque CIFEC</b>	Environ 3 500 EUR ht
<b>Système de chloration par chlore gazeux de marque CIFEC</b>	Environ 5 500 EUR ht

## EXEMPLES



- Ville de Saint Ferréol des Cotes (Puy de Dôme) : alimentation d'une pompe doseuse afin de traiter l'eau de 2 réservoirs.

Besoins énergétiques : 120 Wh / jour

Puissance crête installée : 100 Wc

Accumulateurs : 140 Ah

Tension : 24 V

- Ville de Cuiry les Ivières (Aisne) : Alimentation d'un réservoir

L'installation alimente la chambre des vannes, la pompe doseuse de chlore, et la télégestion de l'installation.

Puissance crête : 1 kWc

Mise en service : 2002

Coût du générateur photovoltaïque : environ 10 000 EUR ht.

## MAINTENANCE

- L'eau de javel peut dégazer. Elle ne doit pas être stockée plus de 6 mois. La solution désinfectante ne doit pas être préparée pour une durée supérieure à 15 jours. Le chlore gazeux conserve, lui, son efficacité.
- Si l'eau traitée est calcaire, l'hypochlorite de soude peut précipiter. Le point d'injection doit donc être nettoyé fréquemment.

**Désinfection par chlore gazeux.** Le chlore gazeux étant un gaz toxique, sa mise en œuvre et sa maintenance doivent respecter la législation en vigueur. La maintenance est peu contraignante et facilement réalisable.

- Fréquemment : contrôle rapide du fonctionnement
- A chaque changement de bouteille : renouvellement du joint d'étanchéité en plomb et du filtre à chlore, contrôle de l'étanchéité
- Périodiquement : vérification poussée de l'état des différents composants : hydroéjecteur, chloromètre (joints interne, débitmètre...), inverseur automatique de bouteille

**Désinfection par hypochlorite de sodium.** L'hypochlorite de sodium étant un produit irritant pour les tissus humains, il est recommandé d'utiliser des gants et lunettes de protection lors des manipulations

- Une fois par jour : contrôle du fonctionnement (installation éventuelle d'une télétransmission)
- Une fois par trimestre : nettoyage de l'appareillage (crépine, tuyaux, clapets...), contrôle visuel des équipements
- En cas d'entartrage, l'installation sera rincée avant puis après nettoyage à l'acide chlorhydrique dilué



## UNE AUTRE SOLUTION : L'ÉLECTROCHLORATION

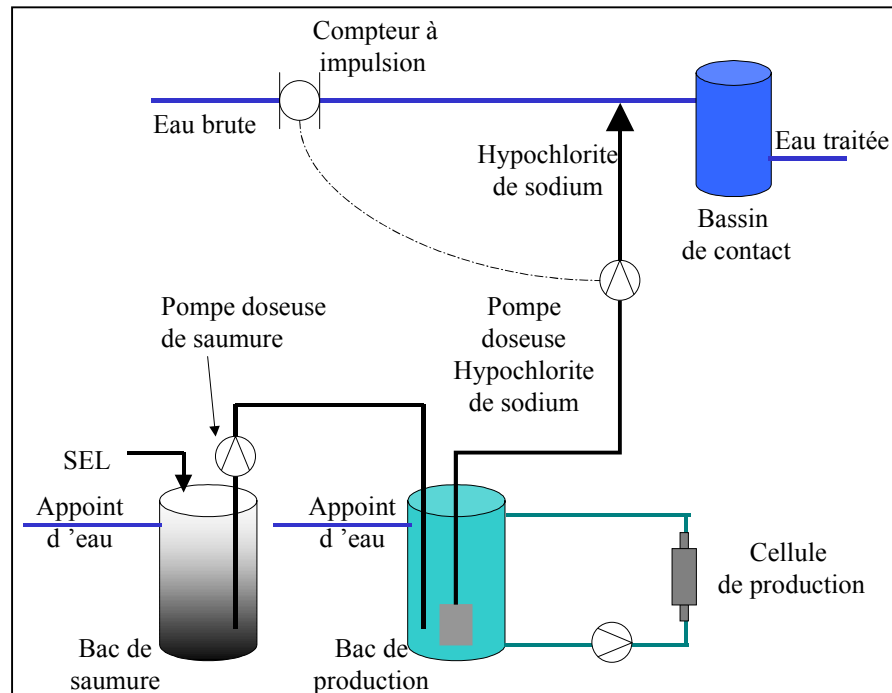


Figure 14 – Schéma de principe de l'électrochloration

Il s'agit d'une électrolyse de l'eau salée. Cette électrolyse produit l'hypochlorite de sodium qui sert ensuite à la désinfection de l'eau.

Cette électrolyse est réalisée dans la cellule de production.

L'intérêt de cette solution réside dans l'utilisation de sels d'origine alimentaire comme source d'hypochlorite de sodium : la maintenance est donc facilitée.

### **Dimensionnement :**

- Traitement de 40 m<sup>3</sup>/jour à 0,5 ppm :
  - Consommation journalière : 500 Wh en 220 V
  - Nécessité d'un onduleur
  - Puissance crête : 250 Wc dans le sud de la France
  - Capacité du parc batteries : 150 Ah en 24 V
  - Autonomie en sel : Avec un bac de 100 litres de saumure l'autonomie atteint 85 jours avec 34 kg de charge de sel
- Coût :
  - pour une capacité de 25 g/heure à 100 g/heure, le coût varie entre 25 500 et 33 000 EUR ht (source CIFEC),
  - pour une capacité adaptée à une commune de 50 habitants, le coût serait d'environ 6 000 EUR ht (source ENGREF - école nationale du génie rural, des eaux et des forêts)

### **ACTEURS :**

Fabricants de pompes doseuses : PROMINENT (pompes doseuses en courant continu), PERMO, LEWA (pompes doseuses en courant alternatif), CIFEC, HYDRO SYSTEMES, ALLDOS

Chlore gazeux : ALLDOS, CIFEC

Électrochloration : CIFEC, AEP

# STERILISATION PAR RAYONS ULTRAVIOLETS

## PRESENTATION

La stérilisation des eaux potables par rayon ultraviolet est connue et utilisée depuis longtemps. Aujourd'hui, les générateurs UV sont au point et permettent une efficacité parfaite pour une consommation d'énergie relativement faible. Cette technique est particulièrement adaptée au traitement des faibles débits. Une trop grande turbidité de l'eau peut limiter l'efficacité de ce mode de traitement. Il faut donc prévoir un système de filtration. La présence de fer dans l'eau peut aussi nuire aux performances du système.

Contrairement à la désinfection par le chlore et ses dérivés, la stérilisation par rayons UV n'a pas d'effet rémanent. La qualité microbiologique de l'eau peut donc se dégrader en aval du traitement sur le réseau de distribution. Le réseau doit donc être maintenu en excellent état par un entretien régulier.

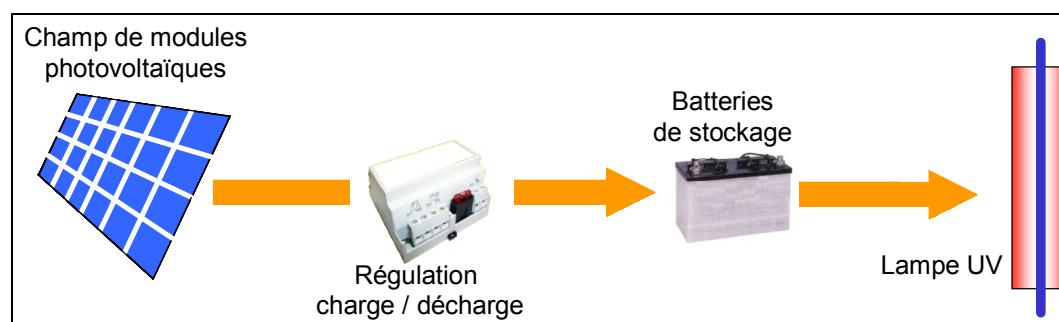


Figure 15 - Installation de stérilisation par rayons UV alimentée par panneaux photovoltaïques

### Gestion de l'énergie

Des lampes UV fonctionnent en courant continu.

Selon la gestion du fonctionnement du stérilisateur, l'énergie consommée sera plus ou moins élevée. Le mode de fonctionnement peut être :

- Fonctionnement 24 h / 24 : c'est le mode de fonctionnement le plus courant, mais il implique des consommations d'énergie importantes
- Fonctionnement au fil de l'eau : la mise en route du stérilisateur est commandée par la demande d'eau. Cependant les lampes UV ont besoin d'un temps de préchauffage avant d'avoir un effet stérilisateur. Le soutirage de l'eau ne pourra donc pas être immédiat
- Stockage d'eau stérile

Dans les sites isolés, la quantité d'eau consommée est souvent faible (quelques m<sup>3</sup> / j) mais il est délicat de fonctionner au fil de l'eau en raison du temps de chauffe nécessaire pour la lampe.

Les générateurs ultraviolets peuvent traiter des débits d'eau allant de 300 l/h à 40 m<sup>3</sup>/h. la puissance de la lampe UV varie en fonction du débit de pointe à traiter.

Exemple : lampe UV type A de WEDECO

Débit max traité [m <sup>3</sup> /h]	5,7	10,4	16,3
Puissance [W]	115	140	230

Compte tenu des puissances des auxiliaires, les consommations d'énergie peuvent devenir importantes et rendre non rentable l'installation de modules photovoltaïques. En travaillant sur la régulation du système, une diminution des consommations est possible.

### **Exemple de réalisation : site de Valavoire (Alpes de Haute Provence)**

Ce système a été développé dans le cadre d'un projet financé en partie par la Commission Européenne et coordonné par le COSTIC.

Sur cette installation, les consommations d'énergie de la lampe UV et du circulateur ont été calculées de manière à limiter les consommations afin de pouvoir fonctionner avec des modules photovoltaïques. La conception du système et de la régulation a permis de diviser par un facteur 5 à 8 les consommations d'énergie.

#### *Caractéristiques de l'installation de Valavoire :*

- Consommation d'eau : 9 m<sup>3</sup>/jour (50 habitants)
- Débit de traitement : 5 m<sup>3</sup>/heure
- Réservoir de stockage : ¼ de la consommation journalière. Le but est de limiter le temps de fonctionnement et le nombre d'allumages de la lampe.
- Consommation électrique journalière : 660 Wh (210 pour la lampe UV, 330 pour le circulateur et 120 pour la régulation du système)
- Caractéristiques du générateur photovoltaïque : 330 Wc, 500 Ah, 24 V.



**Figure 15 – Local technique à Valavoire**

#### *Coûts approximatifs de l'opération :*

- Chaîne de traitement : 11 800 euros ht
- Générateur photovoltaïque : 7 700 euros ht
- Total : 19 500 EUR ht (matériel et installation).

## **MAINTENANCE**

Les lampes UV ont une durée de vie de 7 à 8 000 heures soit environ 1 an. Le prix de la lampe à remplacer annuellement est compris entre 75 et 250 euros ht. Il est nécessaire de nettoyer la gaine quartz de la lampe UV deux fois par an. Cette action ne nécessite pas de compétences techniques particulières.

La lampe UV ne fonctionne correctement que si l'eau est suffisamment claire. Avec une eau turbide, il est nécessaire de prévoir une filtration en amont de la lampe UV. Dans ce cas, la maintenance de l'installation doit inclure le nettoyage ou le remplacement de la cartouche du filtre.

## **ACTEURS**

Stérilisateurs UV : WEDECO, RER, UV GERMI, SIBILLE ÉLECTRONIQUE

# ELECTROVANNE

## PRESENTATION

Les électrovannes (vannes commandées par un servomoteur électrique) sont par exemple utilisées pour le remplissage de réservoirs ou comme organes de sécurité (vannes de sectionnement permettant de couper le débit lorsqu'une alarme se déclenche). Les puissances électriques appelées par ces organes sont faibles et le temps réel de fonctionnement est très court. L'électricité photovoltaïque est donc particulièrement adaptée à ce type d'application en milieu isolé.

## GESTION DE L'ENERGIE – DIMENSIONNEMENT

Les servomoteurs des vannes sont généralement en courant continu. Il n'est pas nécessaire de prévoir un onduleur.

Les puissances des servomoteurs sont de l'ordre de quelques watts jusqu'à quelques dizaines de watts. Les vannes utilisées dans le secteur de l'adduction d'eau sont généralement des vannes tout ou rien. Les temps de course n'excèdent pas généralement 10 secondes. Les consommations d'énergie représenteront donc moins d'un wattheure par course. Le dimensionnement dépend des besoins réellement exprimés sur l'installation.

Point particulier : Sur des installations où des organes de sécurité sont alimentés, il peut être nécessaire d'augmenter la durée de l'autonomie de l'installation lors du dimensionnement.

*Exemple* : Générateur photovoltaïque de 1 500 Wc en 48 V devant fournir 2 000 Wh/jour.

Avec un nombre de jour d'autonomie égal à 5, le parc d'accumulateur devrait être de 300 Ah. Si l'autonomie est renforcée et passe à 12 jours afin d'accroître la sécurité d'approvisionnement, le parc d'accumulateur devra augmenter proportionnellement à 720 Ah.

## EXEMPLE

Motorisation de vannes sur un réseau de collecte et de traitement des eaux usées pour le syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA). Un générateur photovoltaïque a été implanté qui alimente des moteurs de vannes de puissances comprises entre 8 et 40 W, ainsi que des capteurs de niveau, et des organes de régulation.

- Besoins : 1 998 Wh/jour
- Puissance crête : 1750 Wc
- Accumulateurs : 620 Ah – 48 V
- Coût du générateur photovoltaïque : 32 500 EUR ht



**Figure 15 – Générateur photovoltaïque du SIBA – Photo ADEME**

## ACTEURS

Tous les fabricants de vannes hydrauliques à servomoteur.

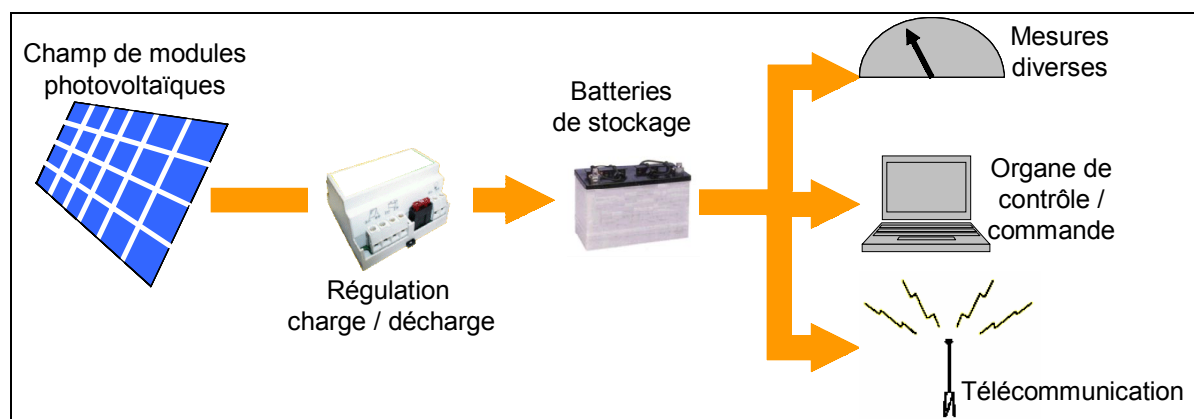
# TELEMESURE

## PRESENTATION

Sous le terme « télémessure », de multiples applications sont regroupées :

- Mesure de débit (eau potable ou eaux usées), surveillance et asservissement de réservoirs d'eau potable
- Mesure de niveau (eau potable ou eaux usées), surveillance et asservissement de station de pompage ou de reprise
- Surveillance de postes de relèvement et de stations d'épuration
- Taux de résidus chlorés
- Commande d'équipements d'irrigation pour l'agriculture
- Télécommande d'appareillage

## CONSOMMATION



**Figure 16 – Schéma de principe d'une installation de télémessure alimentée par modules photovoltaïques**

Tous les équipements utilisés peuvent être alimentés directement en courant continu. L'installation peut ne servir que comme détection et report d'informations ou d'alarmes, ou alimenter aussi des pompes ou des électrovannes en fonction des paramètres mesurés.

De nombreuses applications existent. Actuellement, ces applications sont soit alimentées par le réseau électrique lorsque c'est possible, soit alimentées par des batteries qui doivent être rechargées périodiquement. L'installation d'un générateur photovoltaïque de quelques watts-crête permet de s'affranchir de cette visite de contrôle et de recharge ou de remplacement des batteries.

### **Quelques exemples d'applications :**

Au chapitre 1, de nombreuses installations sur des réservoirs d'eau potable sont recensées. Les syndicats intercommunaux d'adduction d'eau potable pilotent, par exemple, leurs stations de pompage en fonction du niveau des réservoirs. Ces réservoirs sont situés sur des points hauts, parfois loin du réseau EDF. Les dispositifs de mesure de niveau sont très peu consommateurs d'énergie. La consommation d'énergie est essentiellement due aux télétransmissions d'informations. Pour tous les exemples ci-après, les consommations sont de l'ordre de quelques wattheures par jour.

- Télémessures des niveaux et débits par capteur de pression



- Télémessure de niveaux ou de débits par injection d'air. Alimentation d'une micro-pompe à moteur continu et du module de télécommunication
- Télémessure des niveaux et débits de cours d'eau par flotteur (limnimètres)
- Télémessure des niveaux et débits de cours d'eau par limnimètres « bulle à bulle »
- Télémessure de débits par capteurs à effet Doppler
- Télémessure de la qualité des eaux (conductivité, pH, oxygène dissous, turbidité...)

### Principe du limnimètre bulle à bulle

La mesure de niveau par bulle à bulle est une application bien adaptée à une alimentation par modules photovoltaïques. Il s'agit d'insuffler un débit d'air constant dans un petit tuyau débouchant sous la surface de l'eau. La pression de l'air est équilibrée par la colonne d'eau. La pression de l'air appliquée pour produire des bulles est égale à la pression du fluide en bout de canne. La hauteur d'eau est donc égale à la pression d'air fournie.

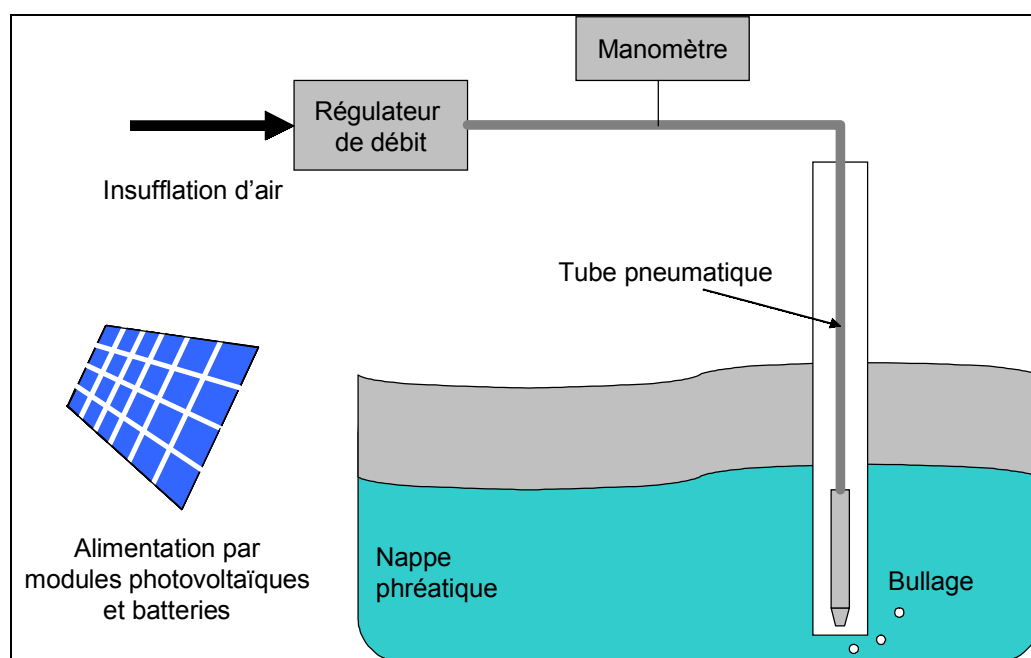


Figure 17 – Principe d'une mesure de niveau par limnimètre bulle à bulle – Photo HYDROLOGIC





## EXEMPLES DE COUTS

### **Mesure de niveau d'eau dans un réservoir d'eau potable**

- Mesure de niveau d'eau par principe hydrostatique VEGA, alimentation en courant continu (voir le schéma joint) : environ 500 euros ht
- Générateur photovoltaïque nécessaire : module de 50 Wc et batterie, environ 2 000 euros ht
- Centrale d'acquisition et de télétransmission NAPAC, logiciel de traitement des données : environ 1 200 EUR ht
- Abonnement France Télécom

### **Mesures de divers paramètres dans une installation de traitement d'eaux usées**

Les mesures suivantes sont possibles :

- Détection d'une rétention en boues dans le compartiment débourbeur, dans le décanteur, le clarificateur ou le silo de stockage des boues.
- Détection d'une rétention en hydrocarbures légers, dans le compartiment séparateur, déshuileur ou dégraissage.
- Détection d'un niveau anormalement haut (dégrillage colmaté, vanne fermée, obturateur automatique fermé...)
- Coût des fournitures : entre 3 000 et 15 000 EUR ht suivant les mesures effectuées. (Source Saint Dizier Environnement)

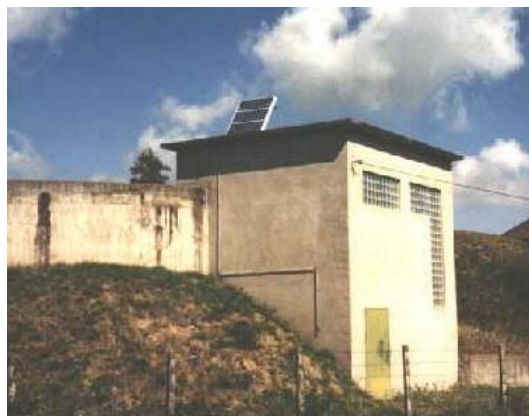
## EXEMPLE D'INSTALLATION

Alimentation d'un système de chloration et de mesure de niveau d'un château d'eau pour le syndicat d'électrification du département de la Loire.

Besoins énergétiques : 112 Wh / jour (principalement dus à l'alimentation de la pompe doseuse)

Générateur photovoltaïque : 150 Wc, 240 Ah, 12 V.

*Photo Transénergie*



## MAINTENANCE

La télégestion permet de transférer des messages d'alarmes qui signalent aux personnels techniques la nécessité d'intervenir. La maintenance se limite sinon à la maintenance usuelle d'un générateur photovoltaïque.

## ACTEURS

Mesures de niveaux, de débits ou de caractéristiques des eaux : de nombreux spécialistes de la mesure existent, notamment HITEC, HYDROEMAC (matériel AUTEG), HYDROLOGIC, SAINT DIZIER ENVIRONNEMENT, SCADA APPLICATIONS (matériels MOTOROLA), SOFREL, VEGA

Centrale d'acquisition, de télégestion : NAPAC, PERAX, WIT

# SURPRESSEUR

## PRESENTATION

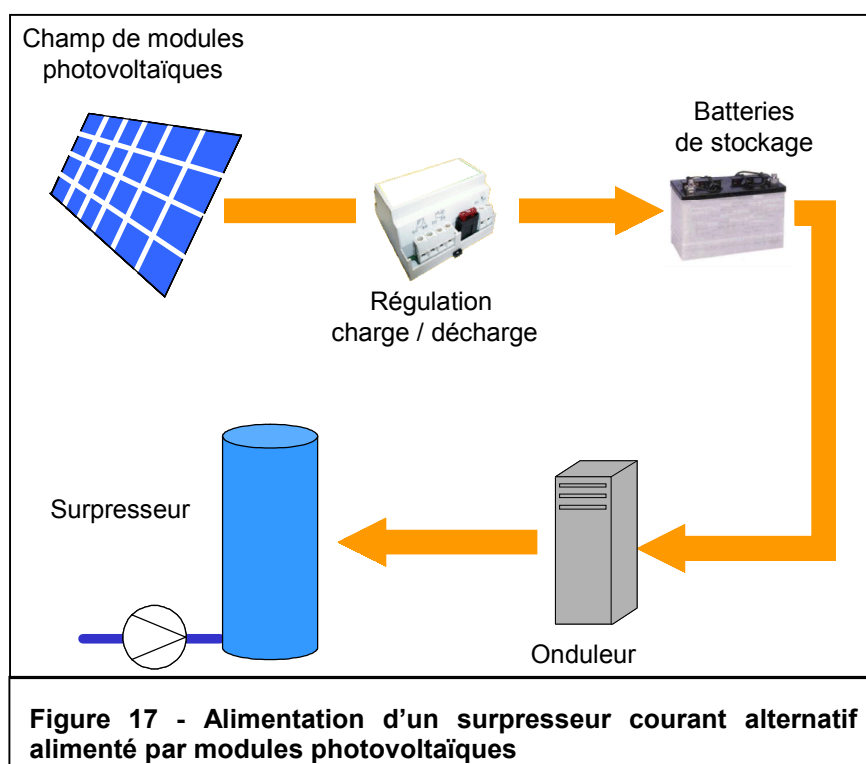
Un surpresseur a pour fonction la mise et le maintien sous pression de réseaux de distribution d'eau à pression insuffisante ou inexistante, en aspiration ou en charge. Des surpresseurs sont adaptés à des petits ensembles d'habitations, des immeubles, des résidences privées.

Un surpresseur peut aussi être utile au fonctionnement d'une installation de désinfection par chlore gazeux (voir la fiche correspondante).

Un groupe surpresseur se compose de deux ou trois pompes fonctionnant en cascade en fonction des besoins, et d'un réservoir à vessie. Un dimensionnement adapté du réservoir permet de limiter le nombre de cycles de démarrage des pompes. Dans le cas d'un faible besoin en pompage, le photovoltaïque permet de satisfaire les besoins énergétiques d'une telle application.

## CONSOMMATION

Les surpresseurs fonctionnent en général sur du courant alternatif. Il est donc nécessaire d'inclure un onduleur dans le générateur photovoltaïque. Le rendement de l'onduleur (de l'ordre de 90 %) doit être intégré dans le dimensionnement de l'installation. Des surpresseurs à destination des bateaux de plaisance existent et fonctionnent en courant continu mais pour des besoins limités.



**Figure 17 - Alimentation d'un surpresseur courant alternatif alimenté par modules photovoltaïques**

L'énergie électrique nécessaire pour fournir 1 m<sup>3</sup> d'eau varie entre 100 à 300 Wh.

## COÛTS

- Surpresseurs courant continu, quelques centaines de litres / heure : environ 150 EUR
- Surpresseurs courant alternatif, quelques dizaines de m<sup>3</sup>/jour : environ 1 000 EUR

## ACTEURS

SALMSON : surpresseur courant alternatif pour petit bâtiment collectif (jusqu'à 30 m<sup>3</sup>/heure),

JOHNSSON : surpresseur en courant continu pour petits usages (quelques robinets)

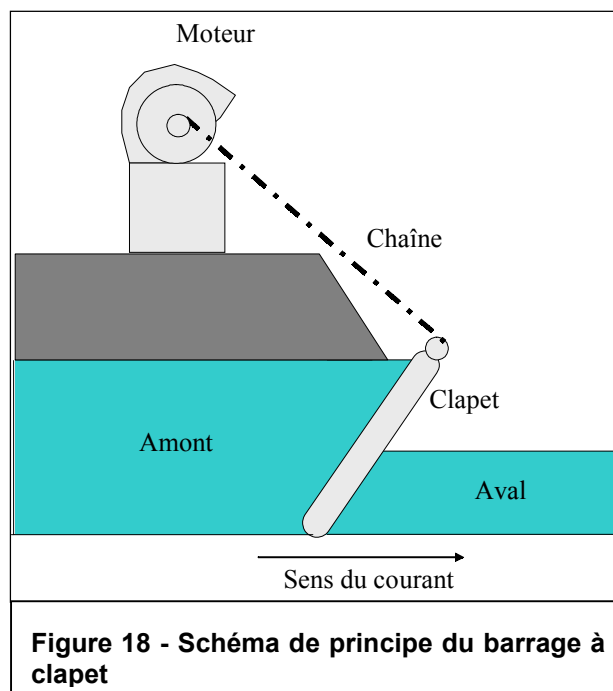
# BARRAGE

## PRESENTATION

Ce type d'installation permet de conserver un niveau d'eau stable en amont du barrage. Un capteur de niveau détecte une élévation du niveau d'eau et donne l'ordre au barrage de réagir en augmentant le débit le traversant. L'alimentation du moteur d'ouverture des clapets peut se faire par l'énergie photovoltaïque. Dans ce cas, l'alimentation du moteur peut être en courant continu.

Cette solution est généralement adaptée à tous les barrages à clapet de dimension moyenne.

Remarque : Ce type de système, surtout utilisé pour la régulation de débit en cas de crues en cours d'eau naturel, serait tout à fait adapté pour des régulations de débit sur des canaux.



## CONSOMMATION

Pour un barrage de dimensions moyennes (Longueur 10 m – hauteur 1,40 m) :

- Puissance appelée : 240 W ;
- Énergie nécessaire lors de l'ouverture des clapets : 60 Wh.

Un générateur photovoltaïque de 90 Wc suffit en général. La batterie d'accumulateurs doit couvrir les besoins d'énergie pour au moins 6 manoeuvres complètes d'ouverture et de fermeture (100 à 150 Ah / 24 V).

## COÛT (pour un ouvrage de longueur 6 m, de hauteur 1 m)

- |                               |               |
|-------------------------------|---------------|
| ▪ Génie civil                 | 26 000 EUR ht |
| ▪ Clapet                      | 12 000 EUR ht |
| ▪ Installation photovoltaïque | 4 500 EUR ht  |
| ▪ Total                       | 42 500 EUR ht |

## ACTEURS

Constructeurs de barrages à clapets : VIRY S.A., PETRISSANS

Vannes murales pour réseaux : PERRIER SOREM, FERNANDEZ SA

# CHAPITRE 5 - TRAITEMENT DES EAUX USEES EN ZONE RURALE

Trois grands groupes de filières existent pour l'assainissement en milieu rural de collectivités inférieures à 2 000 EH :

- Les cultures libres : boues activées, lagunage naturel, lagunage aéré
- Les cultures fixées sur support grossier : lits bactériens, disques biologiques
- Les cultures fixées sur supports fins

La description approfondie de ces filières a fait l'objet d'un document technique FNDAE<sup>8</sup>. Un autre document technique<sup>9</sup> fait le point sur les possibilités offertes par les énergies renouvelables pour l'alimentation de ces applications.

En plus de ces trois groupes de filières, une technique particulièrement adaptée à une alimentation par des énergies renouvelables mais ne faisant pas partie des systèmes d'assainissement collectif doit être citée : les toilettes sèches.

Dans chaque filière présentée par la suite, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque peut être étudiée soit pour alimenter la station complète et éviter le raccordement au réseau d'un site isolé, soit pour diminuer la facture d'électricité et la puissance totale installée en n'alimentant que certains équipements périphériques de la station d'épuration.

## 5.1 Les cultures fixées sur support grossier

	Lits bactériens	Disques biologiques
Poste de relevage	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour
Dégrillage	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure
Décanteur - digesteur	Pas de consommation électrique	Pas de consommation électrique
Lits bactériens	Sprinkler motorisé Fonctionnement permanent Pompes de recyclage Environ 8 heures / jour	Sans objet
Disques biologiques	Sans objet	Moteur d'entraînement Fonctionnement permanent
Clarificateur	Pompe de recirculation des boues Environ 8 heures / jour	Pompe de recirculation des boues Environ 8 heures / jour

## 5.2 Les cultures fixées sur support fin

En général ces équipements ne nécessitent pas d'alimentation électrique sauf dans certains cas pour des équipements annexes tels que des postes de relevage.

<sup>8</sup> Document FNDAE n°22 : Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités

<sup>9</sup> Document FNDAE n°23 : Application des énergies renouvelables à la potabilisation et à l'épuration

## 5.3 Les cultures libres

	BOUES ACTIVEES	LAGUNAGE NATUREL	LAGUNAGE AERE
Poste de relevage	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour
Dégrillage	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure
Dégraisseur – Dessableur	Pas de consommation électrique	Sans objet	Sans objet
Bassin d'aération	<b>Consommation trop importante</b>	Sans objet	Sans objet
Clarificateur	Pompe de recirculation des boues Environ 8 heures / jour  Pont racleur Permanent	Sans objet	Sans objet
Épaississeur	Pas de consommation électrique	Sans objet	Sans objet
Agitateur de silos à boues	Fonctionnement intermittent 1 heure / jour	Sans objet	Sans objet
Aérateurs de lagune	Sans objet	Fonctionnement intermittent	<b>Consommation trop importante</b>

Ce tableau montre que, parmi les traitements en cultures libres, seule la solution basée sur le lagunage naturel est adaptée à l'application de l'électricité photovoltaïque.

Dans la suite du document, des fiches présentent des traitements d'eaux usées adaptés aux zones rurales et à l'application de l'énergie photovoltaïque : lits bactériens, disques biologiques, lagunage aéré et toilettes sèches. Des équipements auxiliaires sont aussi présentés : poste de relevage et dégrillage mécanique.

# POSTE DE RELEVAGE

## PRINCIPE

Ces postes sont installés en tête des stations d'épuration pour relever les eaux usées qui sont collectées plus bas que le site de traitement. Les eaux sont stockées dans la cuve. Une ou deux pompes placées à l'intérieur les refoulent lorsque le niveau haut est atteint.

Le volume de la cuve est dimensionné de manière à limiter le nombre de démarrage à un maximum de 10 pour des petites installations. Les deux pompes permettent d'assurer un fonctionnement continu en cas de panne d'une pompe et un fonctionnement en cascade pour des débits supérieurs aux prévisions. Pour limiter les consommations d'énergie, fonctionner avec une seule pompe est préférable.

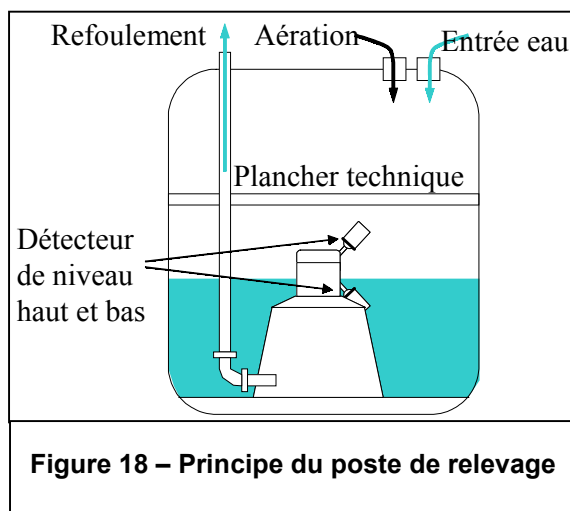


Figure 18 – Principe du poste de relevage

## CONSUMMATIONS D'ÉNERGIE

Le choix du poste de relevage est réalisé à partir du débit d'eau à relever et de la hauteur manométrique totale (HMT) de relevage (hauteur de relevage + pertes de charge dans la conduite). Le dimensionnement peut être effectué par le constructeur au cas par cas.

Les postes de relevage doivent être alimentés en 220 V alternatif ou 380 V triphasé. Il faut donc tenir compte du rendement d'un onduleur lors de l'estimation des consommations.

La puissance est très variable suivant le site, la capacité de l'installation et la qualité des affluents traités. En règle générale, le poste de relevage est un poste fortement consommateur d'énergie.

### **Exemple de dimensionnement :**

Pour une commune rurale dont la station d'épuration traite 500 EH, le poste de relevage est composé de deux pompes de 15 m<sup>3</sup>/heure chacune. Les puissances des pompes sont de l'ordre de 1 à 2 kW. Elles fonctionnent environ 4 heures par jour.

Les consommations d'énergie sont alors de 4 kWh/jour. Le générateur correspondant aura une puissance crête comprise entre 2 kWc et 4 kWc en fonction de l'ensoleillement du site.

## MAINTENANCE

- 2 fois par an : vidange de l'huile de la pompe
- 3 fois par an : contrôle des automatismes et des interrupteurs à flotteur
- 1 fois par mois : nettoyage du panier de dégrillage et vérification que l'orifice de la pompe n'est pas bouché

## ACTEURS

Postes de relevage : SALMSON, KSB, GRUNDFOSS, TECHN'EAU



# DEGRILLAGE MECANIQUE

## PRINCIPE

Le dégrillage est la phase initiale de l'épuration d'une eau usée où sont éliminées les matières les plus volumineuses. Une grille est placée dans le circuit des eaux usées et retient les particules grossières afin de protéger les systèmes d'épuration. Un peigne ou un râteau retire ces particules régulièrement pour éviter le colmatage. Le passage de ce peigne nécessite une consommation d'énergie relativement faible qui peut être d'origine photovoltaïque. Différents systèmes existent : dégrillages rotatifs, dégrillages verticaux...

## DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

**Le dégrillage :** dans le d'eaux usées communales, le dimensionnement est essentiellement fonction du débit d'eau traité. Les fabricants définissent l'entrefer de la grille (en pratique de 2 à 4 cm), la largeur et la hauteur immergée du dégrillage.

**Le générateur photovoltaïque :** La puissance du moteur est de l'ordre de 200 W. Suivant la capacité de la station d'épuration, le moteur fonctionnera pendant des durées plus ou moins longues. Le moteur d'un dégrillage rotatif fonctionne toujours. Le moteur d'un dégrillage vertical ne fonctionne que quelques minutes par heure (en général, 4 à 6 cycles par heure). Dans ces conditions un générateur de 200 à 400 Wc est suffisant.

## COUTS

FB Procédés a développé un dégrilleur vertical adapté à une alimentation par modules solaires.

Dégrilleur : 6 270 EUR ht	Puissance moteur : 95 W (24 V)	Débit traité : 90 m <sup>3</sup> / heure
Générateur : 4 800 EUR ht	Puissance crête : 140 Wc	Batteries : 200 Ah (15 jours)

## MAINTENANCE

L'entretien à réaliser est peu important. Il s'agit de s'assurer régulièrement du bon fonctionnement du dégrillage. Pour plus de sûreté il existe des téléalarmes qui se déclenchent lorsque la consommation électrique devient trop importante, signe que la grille est en train de se colmater.

## ACTEURS

Dégrillages rotatifs et verticaux : SERINOL

Dégrillages verticaux : FB PROCÉDÉS, VIRY

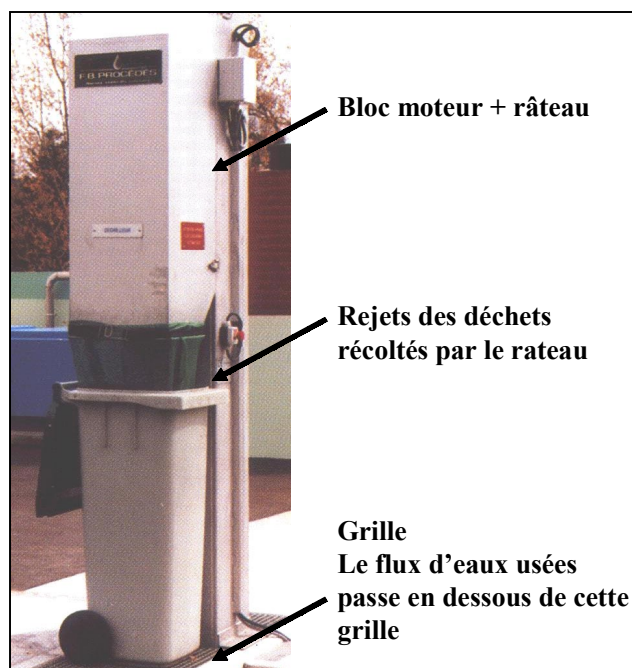


Figure 18 – Dégrillage vertical  
(Photo FB Procédés)

# LITS BACTERIENS

## PRINCIPE

L'eau est préalablement décantée, passe dans un dégrillage puis est introduite dans un ouvrage contenant une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique qui assimile la pollution.

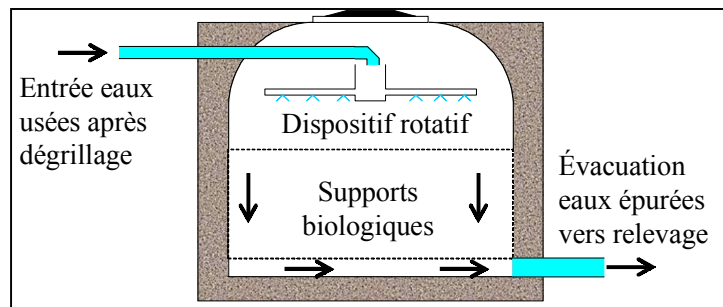


Figure 18 - Schéma de principe d'un lit bactérien avec sortie basse

La dispersion de l'eau à traiter en surface du lit est réalisée par un dispositif tournant en contre-réaction des jets d'eau. Une aération naturelle est réalisée grâce à des ouïes d'aération. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole. En sortie du lit bactérien se trouve un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier sera piégé dans le décanteur sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel. La recirculation des boues vers le décanteur digesteur est essentielle.

## DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

**Lits bactériens** pour une station de 1 000 EH (charge hydraulique de 150 m<sup>3</sup>/j) :

- Décanteur – digesteur : S rectangulaire = 36 m<sup>2</sup>, V = 180 m<sup>3</sup>
- Lit bactérien : V garnissage = 55 m<sup>3</sup>, H mini = 2,5 m avec un taux de recyclage égal à 2
- Clarificateur : S = 16 m<sup>2</sup>.

### **Générateur photovoltaïque**

Le lit bactérien en tant que tel consomme peu d'énergie. Les consommations électriques proviennent essentiellement des postes suivants : dégrillage, relevage et pompes de recirculation. En général, les équipements sont alimentés en courant alternatif. Un onduleur doit être prévu.

### **Exemple :**

Pour une installation d'une capacité de 400 EH, les consommations électriques sont estimées à 2 300 kWh/an. Dans ce cas, la puissance crête du générateur photovoltaïque sera comprise entre 3 000 Wc et 6 500 Wc suivant l'ensoleillement du site.

## MAINTENANCE

En sus de la maintenance du dégrillage et des pompes, un passage fréquent (2 fois par semaine) est nécessaire pour entretenir le tourniquet du lit bactérien. Deux fois par an, les boues doivent être extraites du décanteur digesteur en amont du lit bactérien.

## COUTS

Un lit bactérien coûte environ 10 000 EUR pour une capacité traitée de 400 EH.

## ACTEURS

Lits bactériens : BIOTYS, ELOY & Fils, UDATI

Énergie photovoltaïque

# DISQUES BIOLOGIQUES

## PRINCIPE

Une biomasse est fixée sur des disques tournant autour d'un axe horizontal et baigne en partie dans l'eau à traiter, de manière à se trouver alternativement en contact avec l'eau et l'oxygène de l'air. Un film bactérien se forme sur les disques. Lorsque ce film devient trop épais il se détache et est entraîné vers un décanteur où il forme des boues qui sont en partie recirculées vers l'amont du traitement.

## DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME

### Les disques biologiques :

Le dimensionnement (nombre de disques, capacité des cuves...) est effectué par le constructeur. Les données à fournir sont : la charge hydraulique, la charge biologique, la température extérieure, la température de l'effluent, la nature du prétraitement s'il existe, la qualité de l'effluent désirée à la sortie.

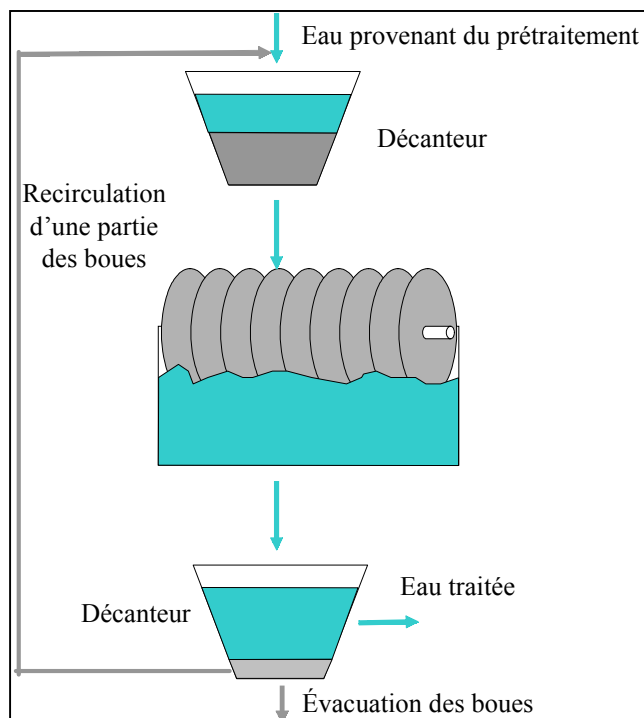


Figure 18 – Principe des disques biologiques

**Le générateur photovoltaïque :** La consommation électrique provient de deux postes : le moteur d'entraînement des disques et la pompe de recirculation des boues. Les disques tournent 24h/24h et la pompe fonctionne une heure par jour. Ces deux postes doivent être alimentés en courant alternatif via un onduleur.

**Exemple de dimensionnement :** pour une installation traitant 100 EH

Puissance du moteur : 250 W. Puissance de la pompe : 750 W.

Consommation d'énergie : 6,75 kWh/jour.

Dans ces conditions, un générateur photovoltaïque d'une puissance crête de 3 750 Wc à 7 500 Wc est nécessaire en fonction de l'ensoleillement du site.

## MAINTENANCE

Des visites périodiques (deux à trois fois par semaine) sont nécessaires, mais les actions à mener demandent peu de compétences techniques : nettoyage du décanteur, entretien du moteur. Une à deux fois par an une extraction des boues du premier décanteur doit être effectuée.

## COÛTS

Pour une capacité de 200 EH, le coût des disques est d'environ 12 à 15 000 EUR TTC.

## ACTEURS

Fabricants de disques biologiques : COPROTECH, PLASTIQUE MÉTAL TECHNOLOGIE

# LAGUNAGE NATUREL

## PRINCIPE

Le lagunage naturel est un procédé extensif très employé (environ 15% du nombre total de stations en France). Il a l'avantage d'avoir de faibles coûts d'investissement et de fonctionnement, et de ne nécessiter qu'un entretien simple. Le lagunage naturel s'effectue en trois étapes :

- 1<sup>ère</sup> lagune : abattement de la charge polluante carbonée
- 2<sup>ème</sup> lagune : abattement de l'azote et du phosphore et réduction de la concentration en algues
- 3<sup>ème</sup> lagune : parfait le travail réalisé dans la 2<sup>ème</sup> lagune

Pour réduire le développement bactérien dans la première lagune, lié notamment à un effet de stratification thermique, on peut envisager l'installation d'une petite aération.



**Figure 18 – Station d'épuration de MEZE**

Alimentation d'aérateurs de bassins  
Puissance crête : 7 200 Wc

## DIMENSIONNEMENT

**Le lagunage** : la surface totale retenue pour les trois lagunes est en général de 11 m<sup>2</sup> / EH. La première lagune, où a lieu éventuellement une aération a une surface de 6 m<sup>2</sup> / EH. La profondeur de ces lagunes est de 1 mètre. Cette aération est très faible, de l'ordre de 3 W / EH.

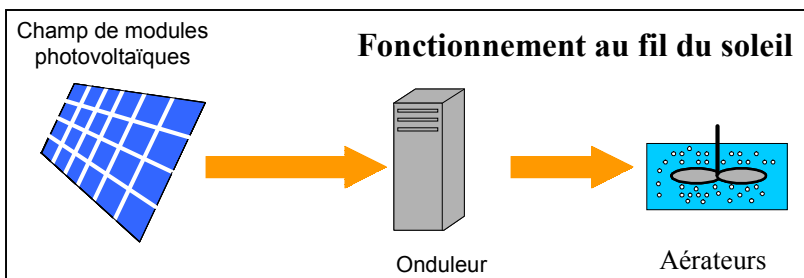
**Le générateur photovoltaïque** : l'apport d'énergie doit permettre d'améliorer les performances du système. L'aération n'est donc pas nécessaire à chaque instant, et un fonctionnement au fil du soleil est envisageable. Un onduleur sera cependant nécessaire pour transformer le courant continu produit par les modules en courant alternatif.

**Exemple de dimensionnement** : Site traitant les eaux usées pour 400 EH

La première lagune aura un volume de 2 400 m<sup>3</sup>. La puissance d'aération de 1,2 kW. Pour les besoins du dimensionnement, la consommation d'énergie considérée est de 6 kWh/jour (5 heures de fonctionnement). Le générateur photovoltaïque doit avoir une puissance crête comprise entre 2 et 4 000 Wc suivant l'ensoleillement.

## MAINTENANCE

Une intervention régulière de l'exploitant une à deux fois par semaine est nécessaire pour contrôler le fonctionnement des aérateurs. Les actions de maintenance nécessitent peu de compétences techniques.



# TOILETTES SECHES

## PRINCIPE

C'est la solution la mieux adaptée à l'assainissement en haute montagne.

Il s'agit d'un dispositif à chute directe des excréments, sans eau. Les toilettes sèches permettent la collecte, le stockage et l'assèchement des matières fécales. Le principe est le suivant :



- Séparation des matières fécales et des urines, de façon à limiter très fortement les odeurs et à faciliter leur traitement et leur évacuation
- Stockage et ventilation des matières fécales : ceci permet l'oxydation de la fraction la plus fermentescible ("pré-compostage") donc une désodorisation partielle et un accroissement de la capacité de stockage
- Infiltration des urines dans le sol, s'il le permet, ou stockage et vidange
- Évacuation des matières solides en fin de saison. Ces matières peuvent être soit séchées en cagettes dans la fosse puis incinérées à proximité (le résidu sec étant combustible), soit mises en sacs et évacuées vers un site adapté

## DIMENSIONNEMENT

Un W.C. permet 10 000 utilisations avant évacuation des matières solides.

Il faut prévoir une ventilation mécanique efficace, assurant en permanence le passage de l'air depuis la cabine vers la fosse de rétention des matières fécales. Cela garantit l'absence totale d'odeur dans la cabine, même pendant l'utilisation.

La ventilation est réalisée par un ou deux ventilateurs de 1,2 W (24 V). Au total, la consommation électrique ne dépasse pas 60 Wh/j. Le plus souvent, un module photovoltaïque d'environ 50 Wc suffit.

## MAINTENANCE

- Nettoyage journalier de la cuvette
- Évacuation des matières solides en fin de saison

## COUTS

Le prix d'une toilette sèche est en général inférieur à 3 000 EUR ht. L'installation du système complet (matériels + installation + cabine + générateur) revient entre 12 et 15 000 EUR ht.

## ACTEURS

Fabricant de toilettes sèches : ÉCOSPHÈRE TECHNOLOGIE



# RESUME

---

**Traiter l'eau pour la rendre potable et assainir les eaux usées** sont des tâches essentielles des communes rurales. Les difficultés de ces communes à mener ces tâches à bien sont dues essentiellement à deux problèmes : **trouver des solutions de traitement adaptées** à leurs besoins, résoudre le **problème d'alimentation en énergie** des sites de traitement.

Ce document donne des éléments de **réponse** à ces deux questions :

D'une part, il présente des solutions techniques de traitement de l'eau potable (chloration, stérilisation UV) et de traitement des eaux usées (lits bactériens, filtres biologiques, lagunage naturel). Pour chacune de ces techniques, le principe est décrit et les besoins énergétiques sont évalués.

D'autre part, il décrit dans quelles conditions **l'énergie solaire photovoltaïque** est susceptible d'apporter l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de ces systèmes.

Après une enquête qui a permis de recenser différents sites où l'énergie solaire photovoltaïque est appliquée, un chapitre récapitule les bases techniques nécessaires pour la mise en œuvre de cette énergie. Les différents organes d'un générateur photovoltaïque sont décrits, une méthode de dimensionnement est exposée, des éléments de coûts et de comparaison avec d'autres énergies sont présentés.

Enfin une série de fiches techniques présente l'application de l'énergie solaire photovoltaïque à un type de traitement d'eau précis.

*Mots clés : eau potable, eaux usées, énergie solaire photovoltaïque.*

# ABSTRACT

---

To treat the drinking water and the waste water are essential tasks of rural districts. The difficulties of these communities to achieve these tasks are essentially due to two problems: how to find solutions of treatment adapted to their needs, how to resolve the problem of energy supply of the sites of treatment.

This document gives some answers to these two questions:

- On one hand, it presents the technical solutions of treatment of drinking water (chloration, UV treatment) and of waste water (bacterian beds, biologic filters, natural lagoon). For each of these techniques, the principle is described and the energy needs are estimated.
- On the other hand, it describes in which conditions the photovoltaic solar energy may supply the energy necessary for the working of these systems.

After an inquiry which allowed listing various sites where the photovoltaic solar energy is applied, a chapter recapitulates the necessary technical data for the application of this energy. The elements of a photovoltaic generator are described, a sizing method is explained, elements of costs and comparison with other energies are presented.

Finally a series of technical notes presents the application of the photovoltaic solar energy to several water treatments.

*Keywords: drinking water, waste water, photovoltaic solar energy.*



# PRINCIPAUX INTERVENANTS ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

---

## **Photovoltaïque - Ensemblers :**

APEX – BP SOLAREX	St-Mathieu-de-Treviers (34)	04 99 62 26 22
NAPS France	Marne la Vallée (77)	01 60 37 35 60
SOLARCOM	Tarbes (65)	05 62 34 77 07
SOLEMS	Palaiseau (91)	01 69 19 43 40
SUNWATT	Gaillard (74)	04 50 31 35 85
TOTAL ÉNERGIE	La Tour de Salvagny (69)	04 78 48 88 50

## **Photovoltaïque – Bureau d'études :**

IED	Francheville (69)	04 72 59 13 20
JURA ÉNERGIE SOLAIRE	Colonne (39)	03 84 37 57 00
SERT	Écully (69)	04 72 18 02 02
SIBILLE ÉLECTRONIQUE	Lyon (69)	04 78 83 31 73
SOLECO	Valrose (20)	04 95 30 72 14
TECSOL	Perpignan (66)	04 68 68 16 40
TENDANCIEL	St Michel / Orge (91)	01 69 46 22 00
TRANSÉNERGIE	Écully (69)	04 72 86 04 04

## **ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie) :**

Direction générale	Paris (75)	01 41 09 70 59
Département énergies renouvelables	Sophia Antipolis (06)	04 93 95 80 02
Une délégation dans chaque région (voir le site Internet <a href="http://www.ademe.fr">www.ademe.fr</a> )		

## **Associations :**

Comité International des Énergies Nouvelles	Tarbes (65)	05 62 93 93 13
Comité de Liaison des Énergies Renouvelables	Paris (75)	01 46 59 04 44
ENERPLAN	Le Castellet (83)	04 94 32 70 08
TECHNOSOLAR	Ria (66)	04 68 05 27 26

## **Centres techniques :**

ARMINES	Paris (75)	01 40 51 90 50
COSTIC	Digne-les-Bains (04)	04 92 31 19 30
GENEC	Saint Paul les Durance (13)	04 42 25 47 42
LCIE	Fontenay aux roses (92)	01 40 95 60 60

## **Syndicats professionnels**

Syndicat des Énergies Renouvelables	Paris (75)	01 48 78 05 60
-------------------------------------	------------	----------------

# FABRICANTS DES PRODUITS CITES

---

AEP	Aubagne (13)	04 42 70 45 99
ALLDOS	La Wantzenau (67)	03 88 59 26 26
CIFEC	Neuilly sur Seine (92)	01 46 40 49 49
COPROTECH	Chatillon sur Indre (36)	02 54 38 74 90
ECOSPHERE TECHNOLOGIES	Nyons (26)	04 75 26 10 44
FERNANDEZ	Le Val d'Ajol (88)	03 29 56 51 81
FB PROCEDES	Saint Luce (44)	02 40 25 86 77
GRUNDFOSS	St Quentin Fallavier (38)	04 74 82 15 15
HITEC	Champlan (91)	01 69 74 10 90
HYDROEMAC	Seyssinet (38)	04 76 26 09 59
HYDROLOGIC	St Martin d'Heres (38)	04 76 03 74 74
HYDRO SYSTEMES	Roquefort la Bedoule (13)	04 42 73 03 92
JOHNSON POMPES	Buc (78)	01 39 20 50 00
LEWA	Sartrouville (78)	01 30 86 74 80
NAPAC	Paris	01 44 25 20 40
PERMO	Marseille (13)	04 91 44 87 86
PERAX	Aucamville (31)	05 62 75 95 75
PERRIER SOREM	Saint Maurice (94)	01 45 11 55 55
PETRISSANS	St Barthélémy d'Anjou	02 41 18 12 18
PLASTIQUE METAL TECHNOLOGIE	Grésy sur Aix (73)	04 79 34 36 38
PROMINENT	Strasbourg (67)	03 88 10 15 10
RER	Oullins (69)	04 78 50 02 37
SAINT DIZIER ENVIRONNEMENT	Gondecourt (59)	03 28 55 25 10
SALMSON	Chatou (78)	01 30 09 81 81
SCADA APPLICATIONS	Beauvais (60)	03 44 06 75 75
SERINOL	Bram (11)	04 68 76 52 52
SOFREL	Vern sur Seiche (35)	02 99 04 89 00
TECHN'EAU	Marigny (50)	02 33 56 62 08
UV GERMI	Objat (19)	05 55 25 85 97
VEGA	Nordhouse (67)	03 88 59 01 50
VERGNET	Ingré (45)	02 38 22 75 00
VIRY	Remiremont (88)	03 29 23 27 82
WEDECO KATADYN	Roissy (77)	01 60 34 50 90
WIT	St Laurent du Var (06)	04 93 19 37 37