

ANNE LABOURET • PASCAL CUMUNEL
JEAN-PAUL BRAUN • BENJAMIN FARAGGI

Cellules solaires

**Les bases de l'énergie
photovoltaïque**

5^e édition

ETSF

EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES FRANÇAISES

Nous remercions les sociétés Sharp, Shell Solar, Siemens, SOHO-EIT/ESA-NASA, BP Solar, Tenesol et Solems pour les documentations techniques.

Couverture : Rachid Maraiï

Illustration de couverture : © Danielschoenen/Fotolia.com

Illustrations intérieures : Alain et Ursula Bouteville & Raphaëlle Danet

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 1998, 2001, 2005, 2010

© ETSF, Paris, 1995, pour la première édition

ISBN 978-2-10-055598-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos		1
PREMIÈRE PARTIE		
COMMENT ÇA MARCHE ? PRINCIPES ET COMPOSANTS		
CHAPITRE		PAGE
1	Rappels d'électricité	5
1.1	Grandeurs physiques et unités	5
1.2	Générateurs et récepteurs	11
1.3	Montages série et parallèle	12
2	Ensoleillement et lumière	15
2.1	Qu'est-ce que la lumière ?	15
2.2	Le rayonnement solaire	18
2.3	Les sources de lumière artificielles	26
3	Cellules et panneaux photovoltaïques	31
3.1	Conversion de la lumière en électricité	31
3.2	Anatomie d'un photogénérateur	33
3.3	Fonctionnement électrique d'un photogénérateur	36
3.4	Les différentes technologies	43
3.5	Énergie solaire et environnement	46
4	Stockage de l'énergie	49
4.1	Quand faut-il un stockage ?	49
4.2	Principales caractéristiques des accumulateurs	52
4.3	Technologies d'accumulateurs et leur adéquation au solaire	57
4.4	Le contrôle de charge	63

DEUXIÈME PARTIE

À QUOI ÇA SERT ? APPLICATIONS

CHAPITRE		PAGE
5	Générateurs autonomes avec stockage	69
5.1	Les secteurs d'application	69
5.2	Optimiser et économiser	73
5.3	Calcul d'un système avec stockage	75
6	Générateurs photovoltaïques raccordés au réseau – Toits et centrales photovoltaïques	83
6.1	Les principales applications	83
6.2	Le concept du raccordement au réseau	85
6.3	Énergie produite et rentabilité	87
7	Montages électroniques avec des cellules solaires	91
7.1	Banc d'essai de la photopile	91
7.2	Mélodie lumineuse	96
7.3	Luxmètre	99
7.4	Liaison sans fil alimentée par photopiles	108
8	Alimentations par panneaux solaires	115
8.1	Éclairage d'un pas de porte avec détection de présence	115
8.2	Alimentation d'un portail automatique	120
	Bibliographie	123
	Adresses utiles	125
	Index	127

AVANT-PROPOS

L'énergie photovoltaïque désigne la transformation d'une source d'énergie lumineuse en électricité et son utilisation. Elle est à distinguer de l'énergie solaire thermique, qui est une autre technique destinée au chauffage de l'eau par conversion directe de l'énergie solaire en calories à l'aide de capteurs plans.

Les cellules solaires et modules photovoltaïques sont des composants de conversion d'énergie qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. On parle généralement d'*énergie solaire photovoltaïque*, car le soleil est la source lumineuse la plus intense de notre planète, et la plupart des applications sont en plein air. Mais certains préfèrent l'expression *énergie lumière*, pour insister sur le fait que toute source de lumière, même artificielle (ampoules, tubes fluorescents...), peut générer de l'électricité à travers une cellule solaire.

Le Soleil, source énergétique quasi illimitée, est à l'origine d'un nombre impressionnant d'effets biologiques qui participent directement ou indirectement à la vie animale et végétale : il procure la chaleur, permet la photosynthèse, la vision, conditionne les rythmes biologiques, etc. L'originalité de l'énergie photovoltaïque telle qu'on l'entend ici est de transformer *directement* la lumière solaire en électricité. Et quand on sait que l'apport énergétique solaire total sur la planète est de plusieurs milliers de fois supérieur à notre consommation globale d'énergie, on comprend tout l'intérêt d'une telle démarche.

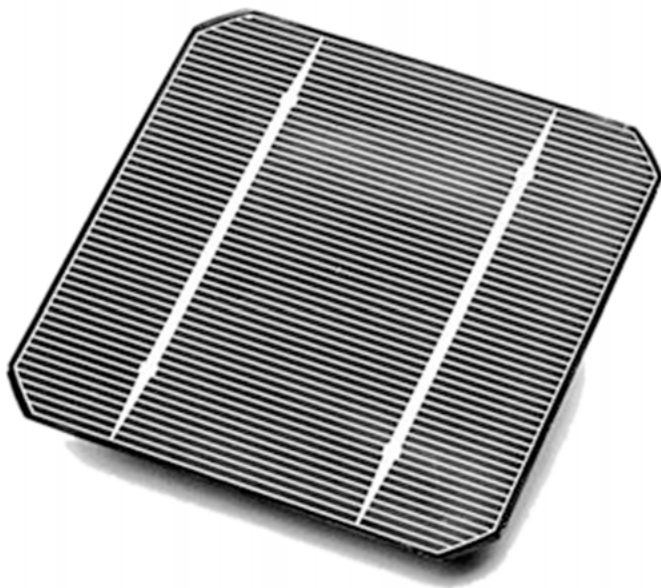
Cet ouvrage décrit le fonctionnement de l'énergie solaire photovoltaïque et donne les bases de sa mise en œuvre pratique. Renouvelable, cette énergie respecte notre environnement en réduisant les émissions des gaz à effet de serre (elle n'en émet aucun lors de son utilisation). Les prix ne cessent de baisser grâce à l'accroissement des volumes de production car le marché est fortement stimulé par le rachat du courant par les compagnies d'électricité, et il croît de 40 % par an au niveau mondial depuis quelques

années. Peu de secteurs économiques peuvent afficher de tels résultats.

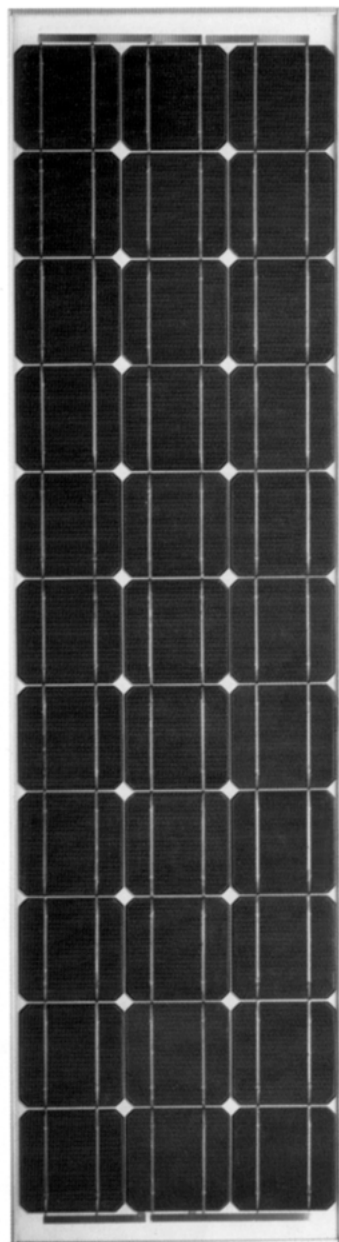
Pour conclure cette présentation générale, voici quelques détails de terminologie.

Cellule solaire et *photopile* sont des termes équivalents qui désignent généralement des capteurs de petite taille, utilisés soit tels quels, soit en assemblage dans un *panneau solaire*, ou *module photovoltaïque*. Ces deux derniers termes, équivalents quand on parle d'énergie solaire électrique, désignent un capteur de plus grande taille et donc de puissance supérieure aux photopiles. Il y a également derrière les mots *panneaux* et *modules*, la notion d'emploi en extérieur de produits plus complets, avec un cadre, un câble... qu'il n'y a pas dans une photopile.

Quant au mot *photogénérateur*, il regroupe l'ensemble de ces composants d'énergie lumière en électricité, c'est pourquoi nous l'utiliserons pour les exposés d'ordre général.



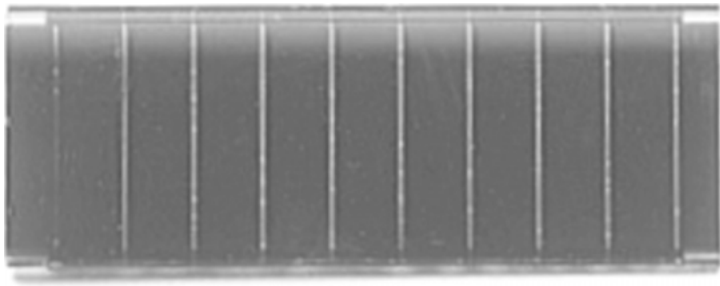
Cellule solaire
au silicium cristallin
(doc. Siemens).



Panneau solaire
au silicium cristallin
(doc. Shell Solar).

CELLULES SOLAIRES

Cellule solaire
au silicium amorphe
(doc. SOLEMS).



1 RAPPELS D'ÉLECTRICITÉ

Nous rappelons ici les bases d'électricité nécessaires à la compréhension des notions et phénomènes électriques. On trouvera donc dans ce chapitre des définitions, des principes et des unités auxquels il faudra se référer au cours de la lecture des autres chapitres en cas de nécessité.

1.1 GRANDEURS PHYSIQUES ET UNITÉS

Le courant électrique est une circulation de particules chargées, les électrons, présents dans toute matière.

Ce flux chargé est porteur d'énergie et nous rappelons ici comment on le caractérise. Pour une meilleure compréhension, nous ferons appel à des analogies avec une circulation d'eau, car toutes proportions gardées, les concepts sont les mêmes.

La différence de potentiel (ou *tension électrique*)

C'est en électricité la quantité d'énergie mobilisable par les électrons pour aller d'un point A à un point B d'un circuit.

La différence de potentiel aux bornes d'un générateur est appelée *tension nominale*. C'est la tension d'utilisation dans les conditions de fonctionnement normal.

La valeur de mesure est le *volt* (V). La tension électrique se mesure avec un voltmètre.

$$1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV} = 1\,000\,000 \text{ }\mu\text{V}$$

où mV = millivolts et μV = microvolts.

Le symbole d'expression est la lettre *U*.

ANALOGIE

Soit un bidon d'eau, dans lequel on a fait un trou à mi-hauteur. La différence de potentiel correspondrait à la hauteur de la chute d'eau (figure 1.1).

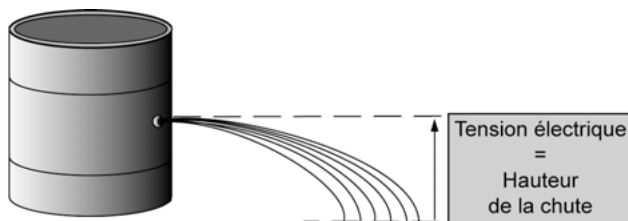


Figure 1.1.

Le courant électrique (ou intensité)

C'est en électricité la quantité d'électrons qui circule par unité de temps.

Le courant circulant normalement dans un circuit donné est appelé *courant nominal*.

La valeur de mesure est l'*ampère* (A). L'intensité du courant électrique se mesure à l'aide d'un ampèremètre.

$$1 \text{ A} = 1\,000 \text{ mA} = 1\,000\,000 \text{ }\mu\text{A}$$

où mA = milliampères et μA = microampères.

Le symbole d'expression est la lettre *I*.

ANALOGIE

Le courant électrique correspondrait à la quantité d'eau qui s'écoule de l'ouverture par intervalle de temps *t* (c'est un débit) (figure 1.2).



Figure 1.2.