

Méziane **Boudellal**

Tout ce que vous devez
savoir sur l'électricité,
le chauffage, l'eau...

Écologique et autonome

Concevoir autrement
son habitat

Maison
magazine

DUNOD

Table des matières

Avant-propos	8
--------------------	---

VERS L'AUTONOMIE

Pourquoi viser l'autonomie ?.....	13
-----------------------------------	----

■ L'inefficacité des solutions énergétiques centralisées	14
■ La disponibilité limitée des ressources	14
■ Le prix croissant des énergies	16
■ La sécurité d'approvisionnement	17
■ La pollution	18
■ Une autre manière de vivre	18

Quel niveau d'autonomie adopter pour ses besoins de base ?.....	21
--	----

■ Vers l'autonomie	22
■ Les énergies (et l'eau) gratuites	24
■ Les niveaux d'autonomie atteignables	25
■ Optimisation et maximisation	28

Vers quelle approche architecturale se diriger ?.....	31
--	----

■ La façade sud : façade énergétique	32
■ Des approches non conventionnelles	32
■ La labellisation	38
■ Les éco-matériaux	41
■ L'éco-conception et l'autonomie	42
■ D'autres aspects non architecturaux	43

D'où tirer l'énergie nécessaire ? 45

■ Le solaire	46
■ L'éolien	49
■ La géothermie	49
■ L'hydraulique	51
■ Le bois	51
■ Les agrocarburants	53
■ Les biocarburants	53
■ Demain : le biogaz	53
■ L'hydrogène, une utopie ?	55

L'AUTONOMIE, SECTEUR PAR SECTEUR

Produire son électricité. 61

■ Les panneaux photovoltaïques	62
■ Le micro-éolien	69
■ La micro-cogénération	71
■ La pile à combustible	74
■ Les autres moyens de production	76
■ Quels investissements pour la production ?	78
■ Stocker l'électricité	79
■ Quels investissements pour le stockage ?	83

Savoir utiliser l'électricité 85

■ Réduire sa consommation	87
■ Mesurer sa consommation	88
■ L'éclairage	89
■ L'électroménager	92
■ Les équipements auxiliaires	94
■ Le multimédia et l'informatique	95
■ Les appareils en veille	97
■ Que faire du surplus d'électricité ?	99

Chauffer, rafraîchir, climatiser 101

- Utiliser la chaleur naturelle 102
- Utiliser les énergies renouvelables 108
- Stocker la chaleur 115
- Utiliser les systèmes de circulation à air ou à eau 117
- Quels investissements pour le chauffage ? 121
- « Climatiser » ou rafraîchir ? 122
- Les méthodes de rafraîchissement 125

Cuisiner 127

- La cuisson au bois 128
- Le biogaz 128
- L'hydrogène 130
- La cuisson lente 130
- La cuisson basse consommation 130
- La cuisson solaire 131
- Le thermocuisseur 132
- Quels investissements pour la cuisson ? 132

Savoir utiliser l'eau 135

- La récupération et le captage 136
- Stocker l'eau 138
- L'utilisation et le traitement 141
- L'eau chaude sanitaire 142
- L'eau alimentaire 147
- L'électroménager 151
- Les toilettes 151
- Le traitement et le recyclage des eaux usées 154
- Les réglementations 158
- Quels investissements pour l'eau ? 160

POUR ALLER PLUS LOIN

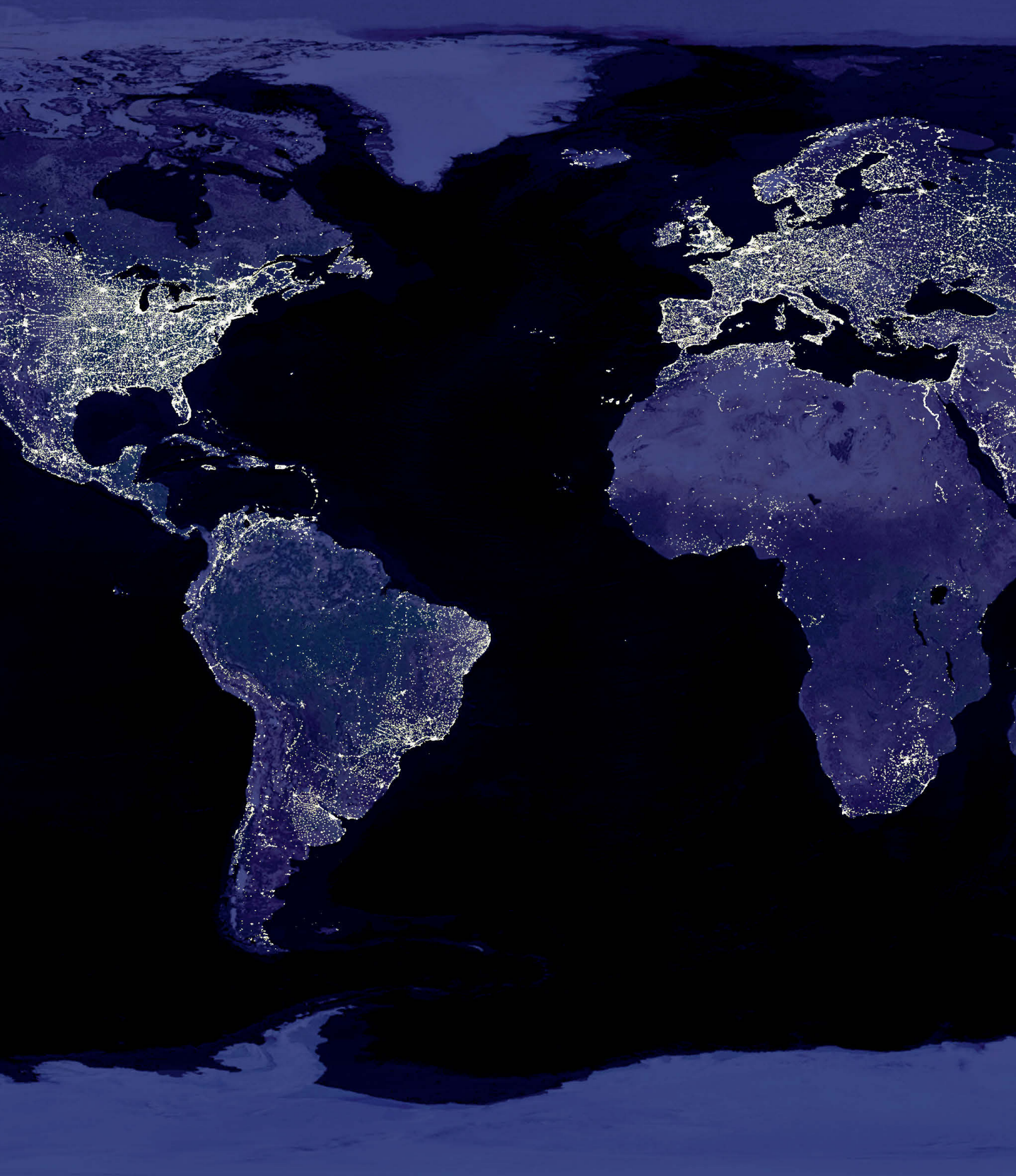
La gestion locale des ressources 165

- Choisir un certain niveau de technologie 166
- Smart Grid, Smart Home, Smart Meter 169
- Les communautés énergétiques 175

Quelques exemples d'habitats autonomes . . 179

- Une approche raisonnée 182
- Un habitat High Tech 184
- Des approches réalistes et pragmatiques 185
- Investir et s'investir 187

Bibliographie 188





Produire son électricité

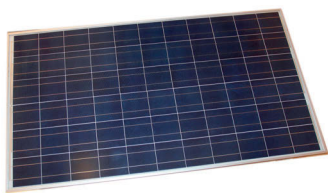
Les photos de nuit de la Terre prises depuis l'espace montrent l'importance de l'éclairage. Mais ceci n'est que la pointe de l'iceberg « électricité ».

Se passer d'électricité ? Impensable aujourd'hui ! Son utilisation intensive est devenue si naturelle qu'il faut la remettre en question afin de pouvoir la produire pour couvrir au moins ses besoins de base.

Les coûts de l'électricité vont aller en augmentant. Les raisons principales sont les investissements pour améliorer le réseau, la modernisation du parc nucléaire français vieillissant, le prix de l'électricité importée en période de pointe de consommation et les taxes de soutien à l'électricité d'origine renouvelable (solaire, éolien, etc.).

Les moyens de production d'électricité à l'échelle individuelle (ou petit collectif) se sont développés ces dernières années, offrant une large palette de choix en fonction de l'emplacement géographique, des éléments naturels et des énergies renouvelables disponibles.

Les panneaux photovoltaïques



Suite aux incitations fiscales et au prix d'achat incitatif de l'électricité d'origine photovoltaïque, cette technologie a connu un essor important et a vu à la fois une augmentation des rendements et une diminution des prix.

De nombreux ouvrages sont consacrés au photovoltaïque et aux calculs de la puissance à installer. Nous considérons l'aspect **maximisation** de la production et approches non conventionnelles.

■ Quels types de panneaux utiliser ?

Les technologies actuelles sont principalement celles utilisant le silicium (Si) ou le cadmium (Cd). Le silicium peut être sous forme monocristalline, polycristalline ou amorphe ; le cadmium est sous forme de tellure de cadmium (CdTe).

↓ **Comparaison
des différents types
de panneaux photovoltaïques**

	Efficacité	Base	Toxicité
Si monocristallin	12-20 %	rigides (verre)	—
Si polycristallin	12-15 %	rigides (verre)	—
Si amorphe	5-9 %	flexibles	—
CdTe	~ 10 %	rigides (verre)	cadmium

Les cellules utilisant le silicium mono ou polycristallin représentent environ 90 % du marché, les 10 % restant étant répartis entre le silicium amorphe et le CdTe. Les cellules utilisant le tellure de cadmium (CdTe) doivent être produites et recyclées avec des précautions spéciales suite à la toxicité du cadmium qui, cependant, ne présente pas de risque dans les modules du panneau.

Pour une production maximale d'électricité, le silicium mono ou polycristallin est à favoriser.

■ Énergie électrique fournie par les panneaux

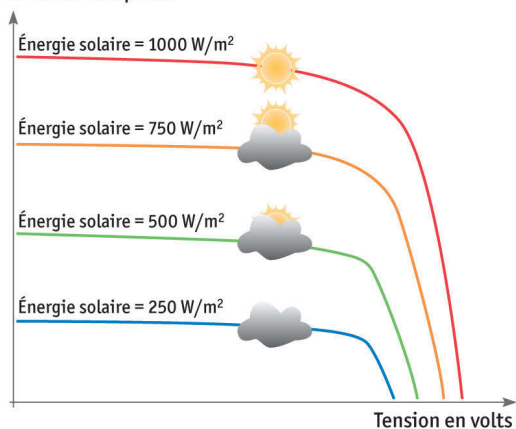
La puissance indiquée par les constructeurs correspond généralement à un ensoleillement maximal ($1\,000\text{ W/m}^2$) et une température du panneau de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Elle est exprimée en Watt-crête (Wc). Un panneau de 250 Wc fournira 250 W d'électricité lorsqu'il est exactement orienté vers le soleil à son zénith, ce qui théoriquement n'arrive que pendant une courte période la journée.

Cette puissance fournie va donc varier en fonction de l'éclairement ou de la température du panneau, ce qui signifie paradoxalement qu'avec un ensoleillement identique, le rendement des panneaux photovoltaïques est meilleur en hiver qu'en été.

↓ Influence de l'ensoleillement (à gauche) et de la température (à droite) sur les performances d'un panneau solaire

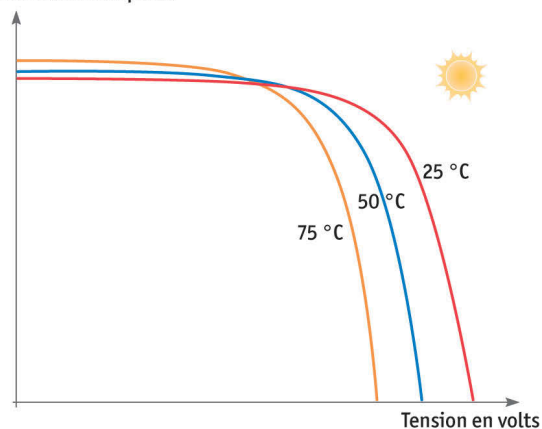
Les valeurs réelles dépendent du type de panneau (silicium, CdTe)

Intensité en ampères



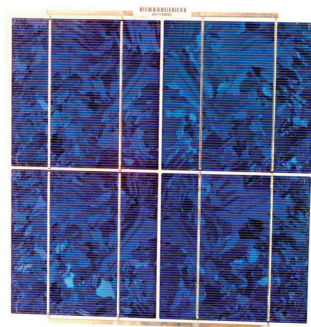
Température du panneau = $25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Intensité en ampères



Énergie solaire = 1000 W/m^2

↓ Modules en silicium polycristallin

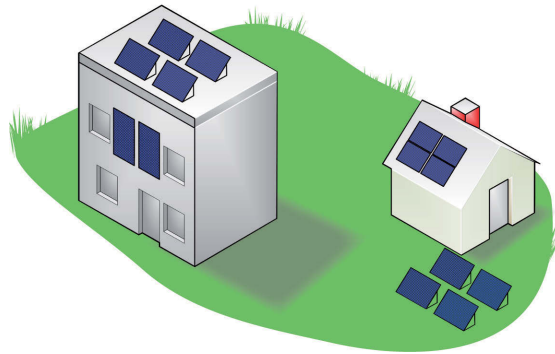


Il est à noter que l'intégration des panneaux à la toiture réduit le rendement en été suite à la difficulté à dissiper la chaleur.

■ Où installer les panneaux ?

La plupart des installations domestiques sont placées sur les toits, ce qui n'est pas nécessairement la position optimale pour obtenir le maximum d'énergie.

Il sera possible de positionner les panneaux en fonction des disponibilités : sur le toit (en pente ou terrasse), en élément de façade ou au sol.



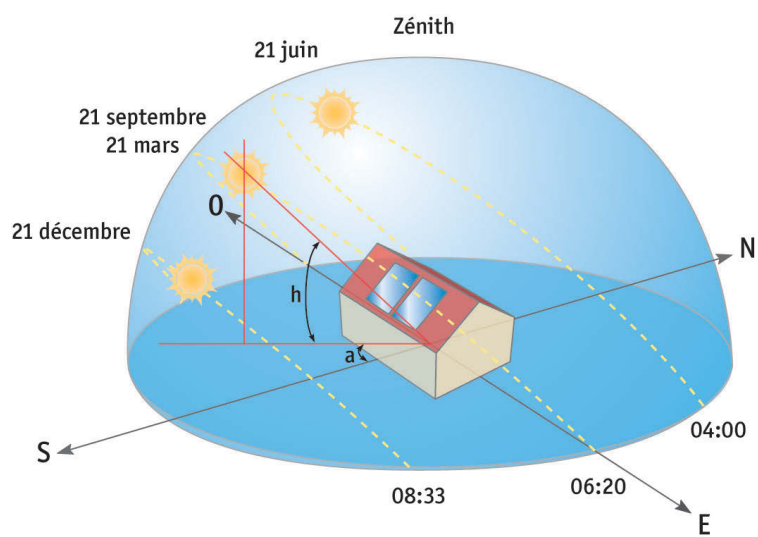
➔ Positionnement possible de panneaux photovoltaïques

Le soleil décrit une trajectoire avec deux variables : dans le plan horizontal ou azimut (du lever au coucher) et dans le plan vertical ou élévation (heure de la journée), le tout étant aussi fonction de la saison et de la localisation terrestre. Une installation fixe ne tirera donc pas le maximum du rayonnement solaire et l'énergie obtenue ne sera élevée que pendant quelques semaines par an, selon la pente du toit.

La solution peut être l'utilisation d'un **suiveur** (ou **tracker**) solaire.

Le principe est de suivre la course du soleil, soit sur un axe du lever au coucher (est-ouest), soit sur deux axes (on ajoute un suivi de la course en élévation).

Les panneaux sont montés sur une structure mobile selon un ou deux axes. Un ou deux moteurs électriques pilotés par des cellules ou un programme orientent en permanence les panneaux vers le soleil permettant d'obtenir une production globale maximale comparée à un panneau fixe. Au coucher du soleil, le système de pilotage oriente les panneaux vers l'est afin de pouvoir suivre à nouveau la course du soleil le lendemain. L'électricité nécessaire pour les moteurs peut être fournie par les panneaux.



← Course du soleil en été et en hiver

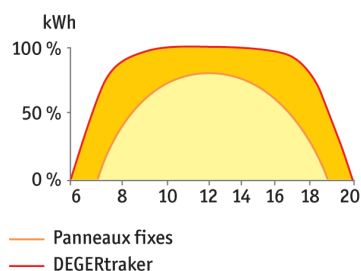
↓ Suiveurs solaires deux axes (© Deger Energie)



↓ Autoréalisation d'un suiveur solaire deux axes (© James R. Parish)



↓ Gains pour des panneaux photovoltaïques montés sur un suiveur deux axes mesurés un jour d'été (© Deger Energie)



Les suiveurs sont utilisés dans les installations importantes, mais des équipements existent pour de petites unités.

Quel gain espérer ? Pour un suiveur deux axes, on peut arriver jusqu'à 60 % d'électricité supplémentaire ! Ceci permet plus que de compenser la faible consommation des moteurs électriques d'orientation. Un suiveur comprenant environ 5 m² de panneaux consomme environ **1 kWh par an** (les moteurs électriques ne consomment que quelques Watts) pour une production pouvant atteindre **5 kWh par jour** en été.

Les suiveurs, de par leur concept de rotations, sont plus adaptés à une installation au sol ou sur un toit-terrasse. Ils peuvent être aussi réalisés en autoconstruction.

↓ Onduleur pour panneaux photovoltaïques (© Steca Elektronik GmbH)



■ Transformer le courant

Les panneaux photovoltaïques fournissent une tension continue et variable. Pour une utilisation d'appareils en 220-230 V, il faut convertir cette tension en courant alternatif 50 Hz et stabilisé. C'est le rôle de l'onduleur.

Les caractéristiques de cet onduleur doivent correspondre à l'utilisation prévue pour l'électricité :

- ▶ puissance nominale (W) couvrant les besoins,
- ▶ puissance maximale (crête) disponible sur une courte période,
- ▶ rendement élevé (> 90 %),
- ▶ tension sinusoïdale pure (« True Sinus »).

Le courant alternatif est modulé à une fréquence de 50 Hertz en Europe (60 Hz aux États-Unis). Cette modulation du secteur est sinusoïdale et, pour un bon fonctionnement d'appareils comme ordinateurs ou téléviseurs on veillera à choisir un onduleur fournissant une tension sinusoïdale pure.

Un onduleur peut aussi gérer la charge de batteries pour le stockage d'électricité et utiliser le courant de ces batteries lorsque les panneaux ne produisent plus d'électricité.

Il est souvent possible d'avoir un affichage déporté afin de surveiller à distance le bon fonctionnement de l'onduleur et de connaître la production électrique.

Pour une utilisation en autonomie partielle où toute l'électricité produite est utilisée et l'appoint fourni par le secteur, l'onduleur se synchronise avec le secteur. Ceci permettra d'utiliser l'électricité produite par les panneaux en priorité et celle du secteur lorsque la puissance demandée ne sera pas suffisante.

■ Protéger les panneaux

L'installation électrique devra répondre aux normes et règles en vigueur avec, entre autres :

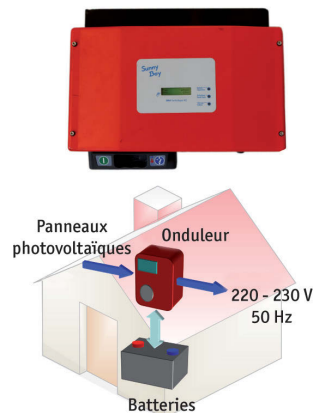
- ▶ une mise à la terre,
- ▶ un parafoudre si nécessaire,
- ▶ un disjoncteur proche des panneaux pour réduire les risques en cas d'incendie, car il faut pouvoir couper l'alimentation de l'onduleur,
- ▶ une protection contre les surtensions.

■ Quelle puissance installer ?

La production d'électricité est variable en cours de journée et fonction des conditions météorologiques (ciel couvert ou non) avec un pic vers midi ; elle est aussi variable en cours d'année. Le solaire ne couvrira jamais tous les besoins : il faudra prévoir un appoint externe et/ou un stockage de l'électricité pour utilisation ultérieure.

Pour une autonomie partielle, le solaire permettra de couvrir (totalement ou partiellement selon l'ensoleillement) les besoins de base le jour. Il faudra faire un bilan des appareils pouvant fonctionner le jour et leur consommation (instantanée et totale).

↓ Fonctions d'un onduleur



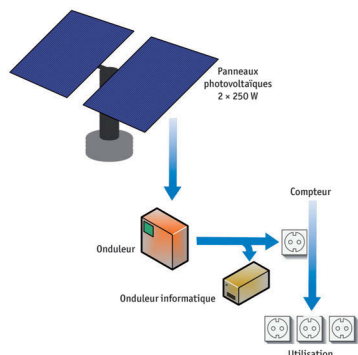
Micro-onduleur

Il s'agit d'onduleurs de faible puissance intégrés au panneau photovoltaïque. En sortie, ils délivrent directement une tension alternative de 220V avec un meilleur rendement que les onduleurs placés loin des panneaux et une durée de vie plus importante. La sécurité est aussi améliorée car il n'y a plus besoin de câbles pour courant continu de forte intensité. Ils peuvent aussi être contrôlés à distance et afficher l'état de chaque panneau.

↓ Onduleur 300 ou 500 Watts (© Steca Elektronik GmbH)



↓ Installation photovoltaïque minimale en autonomie partielle



Pour une **autonomie partielle** et sans stockage d'électricité, on pourra se contenter, par exemple, de deux panneaux montés sur un suiveur. Si on utilise deux panneaux de 250 Wc, les besoins de base (réfrigérateur, pompe du système solaire thermique ou de la chaudière), dans la mesure où ceux-ci auront été optimisés, pourront être couverts une bonne partie d'une journée ensoleillée. L'installation de base pourra donc comprendre ces deux panneaux de 250 W sur suiveur et un onduleur de 300 ou 500 W se synchronisant avec la fréquence du secteur. L'électricité photovoltaïque sera utilisée en priorité réduisant ainsi la consommation à partir du réseau.

Cette solution permet aussi d'éviter les microcoupures. Une programmation pourra aussi définir les priorités lorsque plusieurs appareils doivent fonctionner en même temps et que la puissance fournie est insuffisante pour tous : on donnera, par exemple, la priorité au réfrigérateur sur la pompe solaire. Un onduleur informatique permettra éventuellement de stocker l'électricité en surplus pour une utilisation ultérieure et de servir de sécurité en cas de microcoupures.

↓ Équipements électriques pouvant être alimentés le jour dans le cas d'une autonomie partielle

Équipement	Consommation	Fonctionnement	Priorité
Réfrigérateur	100-200 W	intermittent	haute
Pompe solaire thermique	40-120 W	intermittent	moyenne
Appareils en veille	quelques W	continu	haute
Éclairage (3 lampes)	40 W	intermittent	moyenne
Ordinateur portable	30-40 W	intermittent	moyenne

La priorité définit l'alimentation en électricité : moyenne ou basse signifie que ces appareils pourront être déconnectés temporairement pour alimenter ceux avec une priorité haute.

Pour une **autonomie totale**, le solaire devra couvrir les mêmes besoins le jour et, de plus, permettre la charge des batteries, si celles-ci sont prévues pour le stockage.

Une installation à Toulouse, par exemple, avec des panneaux fixes ne permettra pas une charge complète de batteries au plomb (durée en charge lente de dix heures) et offrira une autonomie réduite de plus de 50 % par rapport à des panneaux montés sur un suiveur.

↓ Ensoleillement à Toulouse et durée d'utilisation optimale des panneaux photovoltaïques

	Lever	Coucher	Ensoleillement total	Panneaux fixes	Panneaux mobiles
21 juin	03h50	19h57	16 heures	8 heures	12 heures
21 décembre	07h45	15h57	8 heures	3 heures	5 heures

Dans tous les cas, l'utilisation d'un suiveur et l'augmentation de la puissance unitaire des panneaux disponibles (jusqu'à 250 Wc en 2011 pour un panneau de 1,5 m²) permettent de réduire le nombre de panneaux nécessaires par rapport à une installation fixe.

Le micro-éolien

Bien que de nombreux prototypes aient été présentés, le micro-éolien a des difficultés à démarrer. Parmi les freins, on distingue principalement :

- ▶ l'aspect technique ou esthétique (installation avec mât et haubans par exemple),
- ▶ la nécessité de chercher la hauteur, sans dépasser les douze mètres (pas d'autorisation nécessaire en dessous),
- ▶ la variabilité instantanée et dans le temps de la production.

Quelle solution pour éviter au moins une partie de ces limitations ?

Des éoliennes innovantes ont été conçues ayant pour objectif de dépasser les points bloquants liés surtout à l'aspect. Parmi elles, l'éolienne AéroCube® à rotor horizontal de la société Eolta qui s'installe sur le faîte du toit.

Elle démarre dès un vent de 3 m/s (10 km/h) et fournit 300 W par module à 8 m/s ; avec un vent de 16 m/s soit 58 km/h, elle développe une puissance de 1 000 W. Elle utilise la pente du toit qui accélère l'air jusqu'à la faîtière ; elle peut fonctionner dans les deux directions, donc s'adapter à la direction du vent. Sa production peut atteindre 1 000 kWh par an.

Les micro-éoliennes à axe de rotation vertical de type **Savonius** ou **Darrieus** peuvent aussi constituer une alternative. Une telle éolienne peut produire 350 W avec un vent de 10 m/s (36 km/h) et jusqu'à 1 000 W à 14 m/s (50 km/h).

↓ Installation d'une micro-éolienne AeroCube (© Aeolta)





↑ **Micro-éolienne AeroCube montée sur faîte de toiture**
(© Aeolta)

Les micro-éoliennes peuvent aussi être carénées : elles offrent un meilleur rendement et sont aussi plus faciles à intégrer du point de vue esthétique.

Pour un diamètre de 1,7 m, elles peuvent produire 1 500 W d'électricité avec un vent de 14 m/s.

De telles solutions basées sur des petites éoliennes ne sont certes qu'un compromis au niveau habitat individuel, mais, dans les zones où le vent est fréquent, cela peut permettre un appoint d'électricité non négligeable pendant la journée et aussi la nuit.



← **Micro-éolienne de 1 kW à axe vertical** (© Ropatec)

Écologique et autonome

Concevoir autrement son habitat

Utilisez efficacement les énergies disponibles et renouvelables

Assurez à moindre coût vos besoins énergétiques de base

Pensez « écologie » à tous les niveaux pour atteindre l'autonomie énergétique

Les énergies et l'eau que vous utilisez quotidiennement proviennent de sources qui s'épuisent progressivement. Leur prix ne cesse d'augmenter et nous ne sommes pas à l'abri d'un **manque d'approvisionnement**.

Viser une certaine **autonomie énergétique**, c'est suivre une démarche éco-citoyenne qui favorise une mise en valeur des **énergies renouvelables** à notre disposition. Celle-ci a pour but de faire coexister **confort et qualité de vie** avec réduction des dépenses énergétiques et utilisation de procédés écologiques. Cet ouvrage détaille en particulier :

- ✓ les divers degrés d'autonomie atteignables, du plus simple au plus ambitieux,
- ✓ les technologies existantes et à venir,
- ✓ des nombreux exemples d'habitat autonome déjà construits et fonctionnels.

Richement illustré, ce livre couvre toutes les solutions énergétiques envisageables, allant des **économies facilement réalisables** à une autonomie pratiquement totale. En fonction de vos besoins et de vos moyens techniques et financiers, vous pourrez y piocher des idées pour agir efficacement et écologiquement.

MÉZIANE

BOUDELLAL

est spécialiste des énergies renouvelables. Il écrit pour la revue *Énergie Plus* et est l'auteur de deux ouvrages pour les professionnels : *La pile à combustible* et *La cogénération* parus aux éditions Dunod.



9 782100 557943

6924369

ISBN 978-2-10-055794-3



DUNOD

www.dunod.com