

Energie à bord

10 panneaux solaires au banc d'essai

Texte **Sébastien Mainguet**.
Photos **Tangi le Bigot**.

Retrouvez le test des panneaux solaires en vidéo sur www.voilesetvoiliers.com



Quand on navigue sous des climats ensoleillés, les panneaux solaires sont un bon moyen de produire de l'énergie à bord. Mais comment les choisir? Les modèles souples sont-ils aussi performants que les rigides? Que penser des modèles «low cost»? Et quelles précautions faut-il prendre pour le montage? Nous avons testé ici une dizaine de panneaux, et nous en avons tiré des conclusions parfois surprenantes.

Au premier abord l'énergie solaire peut sembler formidablement abondante pour ne pas dire inépuisable. De quoi se mettre à adorer le Soleil! Pas si sûr (voir encadré «L'énergie solaire, c'est quoi?»). Tout d'abord, la Terre ne reçoit qu'une infime part du rayonnement solaire. Eh oui, il faut bien partager avec les Martiens, nous ne sommes pas seuls! Il faut tenir compte aussi du filtrage de l'atmosphère. Au bout du compte, il faut se contenter de 170 000 térawatts sur les 360 000 milliards de térawatts

produits par le Soleil. Déjà pas mal non? Oui, mais pour un mètre carré de planète bleue, combien cela fait-il? De jour, dans des conditions optimales, au maximum 1 367 watts par mètre carré juste au-dessus de l'atmosphère, et 1 000 watts par mètre carré au niveau du sol. Cette puissance reçue par unité de surface est appelée «irradiance». Et en moyenne annuelle mondiale au niveau de la mer, en tenant compte de l'alternance jour-nuit et de la variabilité des conditions d'ensoleillement, c'est environ 200 watts par

mètre carré (entre 85 et 290 watts par mètre carré, selon les régions). Sur 1 000 watts qui nous arrivent sous la forme d'ondes électromagnétiques, les cellules photovoltaïques ordinaires n'en convertissent environ qu'un cinquième en électricité (soit, dans notre exemple, 200 watts). On parle de «rendement» ou plutôt de «taux de conversion». Selon la qualité des cellules, ce taux de conversion peut en fait varier de 10 à 25 %. Pour les cellules monocristallines utilisées dans les panneaux vendus par les réseaux de shipchandlers ou sur

Internet (ceux que nous avons testés ici), on est plutôt entre 15 et 20 %. Il faut bien comprendre ensuite que la puissance nominale d'un panneau solaire, c'est-à-dire celle donnée par le fabricant (on parle aussi de «puissance-crête») est celle que l'on peut obtenir dans des conditions optimales. Ce qui suppose que l'on se trouve dans la zone intertropicale (celle où le rayonnement peut atteindre 1 000 watts par mètre carré), mais aussi que le panneau soit parfaitement perpendiculaire au rayonnement solaire. Dans nos contrées, à



A bord du Gin Fizz
Amasia, pas moins de
590 watts de panneaux
solaires rigides à l'arrière
et 400 watts de panneaux
flexibles sur le pont.

AMASIA/ECO SAILING PROJECT

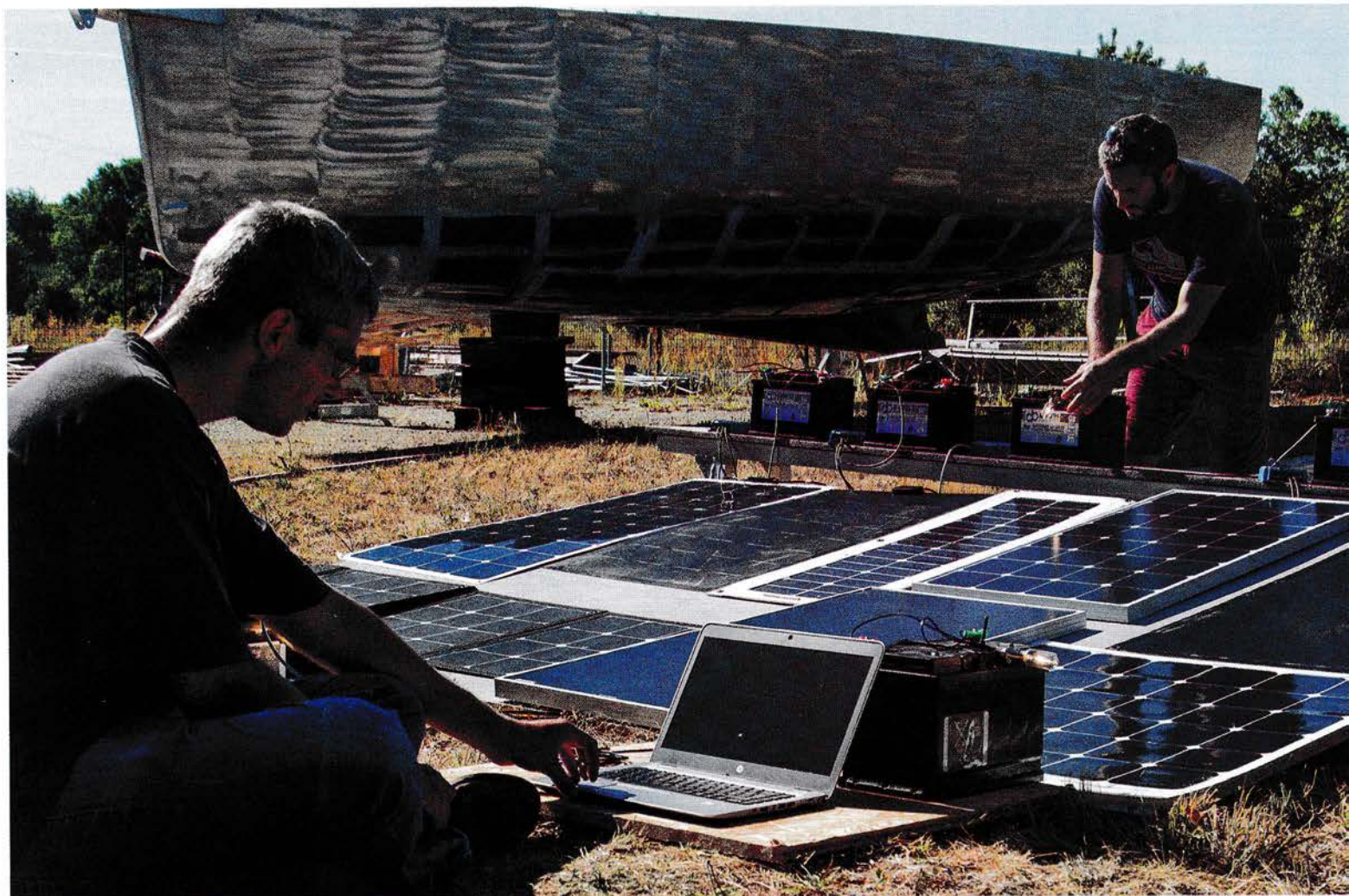
40 ou 50 degrés de latitude, et même en se positionnant de manière parfaitement perpendiculaire au rayonnement, un panneau d'une puissance nominale de 150 watts ne dépassera jamais 110 watts de puissance effective environ. Autrement dit, la puissance nominale d'un panneau solaire, ou puissance-crête, est donnée pour une irradiance de 1000 watts par mètre carré, alors que l'irradiance maximale sous nos latitudes ne peut jamais dépasser quelque 700 watts par mètre carré. Et bien sûr il y a la notion essen-

tielle de «facteur de charge». De quoi s'agit-il? Le facteur de charge d'un panneau solaire désigne le rapport entre l'irradiance moyenne constatée dans la zone où le panneau est utilisé (avec l'alternance du jour et de la nuit et des conditions météo variées), et l'irradiance maximale reçue dans la zone intertropicale. Ou encore – ce qui revient au même – le rapport entre la puissance moyenne produite par le panneau et sa puissance-crête. Pour des installations photovoltaïques à terre, en France métropolitaine,

le facteur de charge moyen annuel se situe autour de 15 %. Sur un bateau, il faut s'attendre à obtenir un facteur de charge un peu inférieur à 15 %. Mais si l'on conserve ce chiffre

qui peut correspondre par exemple à une utilisation en période estivale, alors un rapide calcul montre qu'un panneau d'une puissance-crête de 100 watts produira en

**EN MASQUANT ENVIRON 10 % DE LA SURFACE
DU PANNEAU, ON FAIT CHUTER
SA PRODUCTION DE... PRÈS DE 90 %.**



10 PANNEAUX SOLAIRES À LA LOUPE

FABRICANT	ENERGIE MOBILE	ENERGIE MOBILE	ERI	MARINEFLEX	SOLBIAN	SOLBIAN	TECNISOLAR	UNITECK	UNITECK	VICTRON
Modèle	Panneau repliable HPP-110	HP 12-100	ERI-120FM	Marineflex 100	SP23	SP112Q	bâche solaire mi-souple 55 W	Unisun 100.12 BC	Unisun 100.12 MF	BlueSolar monocristallin 150 W
Distributeur	VDM - Energie Mobile	VDM - Energie Mobile	Navicom	VDM - Energie Mobile	Stormline/VDM	Stormline/VDM	Croix du Sud Marine	Accastillage Diffusion, VDM	Accastillage Diffusion, VDM	Victron
Type	souple	monocristallin, rigide back contact	souple	monocristallin souple back contact	souple back contact	souple back contact	souple	monocristallin, rigide	monocristallin, souple	rigide
Puissance nominale	110 W	100 W	120 W	100 W	23 W	112 W	55 W	100 W	100 W	150 W
Dimensions	1280 x 560 mm (560 x 440 plié)	1050 x 540 mm	1305 x 540 mm	1100 x 570 mm	600 x 300 mm	855 x 800 mm	1180 x 380 mm	1050 x 550 mm	1275 x 560 mm	1480 x 673 mm
Poids	2,6 kg	9 kg	2 kg	2,7 kg	0,6 kg	1,6 kg	1,7 kg	7,5 kg	2,5 kg	12 kg
LES RESULTATS DE NOS TESTS										
Production instantanée maxi	5,9 A	6,8 A	5,8 A	6,1 A	1,5 A	5,6 A	2,9 A	6,1 A	6 A	9 A
Production instantanée à plat	5,3 A	4,3 A	5,4 A	5,3 A	1,4 A	4,4 A	2,6 A	5 A	4,2 A	7 A
Production instant. à plat avec 2 cellules masquées	0,8 A	1,5 A	1,5 A	1,5 A	0,2 A	4,1 A	0,5 A	0,6 A	0,6 A	0,3 A
Production cumulée sur 3 heures*	107 Wh	112 Wh	90 Wh	118 Wh	non testé	85 Wh	46 Wh	113 Wh	105 Wh	117 Wh
Arrêt de la production (temps ensoleillé)	21 h	20 h 30	22 h 30	20 h 20	non testé	21 h 30	20 h 10	20 h 45	20 h 30	20 h
PRIX	399 €	299 €	529 €	399 €	385 €	1099 €	550 €	289 €	359 €	285 €

* à l'horizontale, entre 16 heures 15 et 19 heures 15 (après-midi ensoleillé, début juillet).

L'ÉNERGIE SOLAIRE, C'EST QUOI ?

«La matière est une invention, assez imparfaite d'ailleurs, que nous nous sommes forgée pour représenter ce qu'il y a de permanent dans toutes les vicissitudes. La réalité effective, celle qui fait effet sur nous, c'est l'énergie.»

Cette réflexion de Wilhelm Ostwald, qui s'exprimait ainsi en 1895 dans la Revue générale des sciences pures et appliquées, reste des plus pertinentes aujourd'hui. Car la matière n'est pas un concept scientifique; c'est un concept métaphysique. Stricto sensu, la science ne connaît pas la «matière», seulement la masse et l'énergie – liées entre elles par la fameuse équation $E = mc^2$. Ainsi, la fusion nucléaire de l'hydrogène au sein de notre étoile convertit chaque seconde environ 3,4 millions de tonnes en quelque 100 milliards de térawattheures. Chaque seconde, une infime partie de la masse du Soleil est ainsi convertie en énergie. La machinerie en question a une puissance de quelque 360 000 milliards de térawatts. Autrement dit, chaque seconde, le Soleil produit une quantité d'énergie qui correspond à cinq millions de

fois la consommation électrique mondiale annuelle (20 000 térawattheures), et sa puissance représente environ 5 millions de milliards de fois la puissance électrique totale du parc nucléaire français.



La puissance du Soleil est gigantesque, mais ce qui nous arrive sur Terre est tout de même bien plus modeste.



Notre bateau est installé sur le terre-plein du chantier Alumarine.

Une cellule photovoltaïque, comment ça marche ?

Le principe est assez simple à décrire. Ici, en simplifiant les choses, un métal semi-conducteur (du silicium) est exposé au rayonnement solaire. Les photons «arrachent» des électrons en percutant le matériau (effet dit «photo-électrique»), ce qui génère en son sein une circulation d'électrons, c'est-à-dire un courant électrique de type continu. Plus précisément, une cellule photovoltaïque est constituée de deux couches de silicium. La couche extérieure, exposée à la lumière, reçoit ce qu'on appelle un «dopage de type N» (négatif), ce qui signifie qu'elle est «enrichie» en électrons; la couche interne reçoit au contraire un «dopage de type P» (positif), en sorte qu'elle présente un déficit d'électrons. Tout cela permet de «forcer» les électrons à circuler dans un seul sens, de la couche externe vers la couche interne, et donc à revenir vers la couche externe en passant par... le circuit électrique que l'on souhaite alimenter.

Deux séries de tests

Pour notre test comparatif, nous avons réuni une dizaine de modèles aux caractéristiques assez diverses, même si la plupart affichent une puissance nominale similaire, autour de 100 watts. Nous avons trois modèles rigides et sept plus ou moins flexibles. Sans oublier un «panneau» un peu

particulier, mis au point par la société malouine Technisolar, et qui est en fait une «bâche semi-souple» conçue pour être posée dans les filières, verticalement, à la manière d'un cagnard. Sa conception est censée être optimisée pour obtenir un rendement correct y compris dans cette configuration a priori défavorable.

Tous nos panneaux solaires font appel à des cellules de type monocristallin. C'est aujourd'hui la technologie la plus efficace en termes de rendement rapporté à la surface. Les cellules les plus haut de gamme sont de type «back contact», c'est-à-dire qu'elles sont montées de telle manière que le rendement est optimisé. Les cellules de type polycristallin sont moins utilisées pour les applications de loisir, mais il faut cependant admettre qu'elles conservent certains avantages: elles sont moins gourmandes en ressources lors de leur fabrication, et elles chauffent un peu moins.

Nous avons mené deux séries de tests. Dans un premier temps, nous avons relevé des productions instantanées en ampères, chaque panneau étant monté individuellement sur une batterie 12 volts. On recherchait la valeur maximale en orientant le panneau à 90 degrés du rayonnement solaire, puis on le posait simplement à plat. Et enfin, expérience particulièrement intéressante, on masquait à l'aide d'un cache en carton deux cellules à différents endroits du panneau afin de voir dans quelle mesure la

production chutait. Ce dernier test a permis de constater que dans la plupart des cas, en masquant ainsi environ 10 % de la surface du panneau, on faisait chuter sa production de... près de 90 %. Seul un modèle, bénéficiant d'une conception différente, était réellement exempt de ce défaut. L'explication est assez simple: en règle générale, sur un panneau solaire, les cellules sont montées en série, ce qui fait que la production du panneau est celle de la cellule qui produit le moins. C'est un peu l'histoire du maillon faible... La solution consiste donc à diviser le panneau en trois ou quatre zones distinctes, mais peu de fabricants prennent cette précaution. Sur un bateau, il est important de prendre en compte ce problème puisque les objets susceptibles de faire de

moyenne, sur 24 heures, quelque 30 ampères-heure sous 12 volts, pour une intensité moyenne de 1,2 ampère environ.

Les installations industrielles, photovoltaïques ou à concentration, peuvent susciter bien des commentaires contradictoires, enthousiastes ou sceptiques. Mais une chose est sûre: à bord, le panneau solaire est précieux. Et il est tout à fait à sa place. Parce que sur un petit bateau de plaisance, on n'a pas de gros besoins. Un exemple: avec 40 watts, on couvre la consommation d'un pilote automatique pas trop gourmand. Comme nous l'avons expliqué par ailleurs, le flux solaire qui arrive sur Terre a en réalité une faible densité de puissance; mais dans un environnement où les besoins en énergie sont limités, cela n'est pas un problème. En revanche, si l'on veut alimenter un moteur électrique pour la propulsion du bateau, c'est une autre histoire car ce genre de consommateur est autrement plus gourmand qu'un pilote ou qu'un réfrigérateur.

Par temps ensoleillé, la production d'un panneau solaire de 100 watts n'est pas négligeable.



l'ombre sont nombreux : les voiles, mais aussi les bouts, ou encore les équipiers mal placés...

Dans un second temps, chaque panneau étant toujours posé à plat horizontalement, et monté individuellement sur sa propre batterie de manière à simuler au mieux des conditions d'utilisation réelles, nous avons enregistré les données en utilisant le petit logiciel intégré dans le régulateur électronique Victron Blue-Solar MPPT dont nous avions équipé chacun des panneaux. Cela nous a permis de relever une production cumulée sur plusieurs heures. A noter à ce sujet qu'il est toujours possible de monter des panneaux solaires sans régulateur, même si ce n'est pas conseillé. Si l'on est amené à faire cela

ponctuellement, il faudra veiller à ce que la tension ne grimpe pas trop.

Des conclusions encourageantes

A l'issue de ces tests, on peut tirer un certain nombre d'enseignements très utiles. Pour commencer, il s'avère que dans de bonnes conditions d'ensoleillement, la production d'un grand panneau 100 ou 150 watts est réellement significative : le plus performant à cet égard, lors de la première série de tests, donnait pas moins de 9 ampères une fois positionné à 90 degrés du rayonnement solaire, et encore 7 ampères posé à plat. Ce qui est largement suffisant pour alimenter, par exemple, un pilote automatique. Pour naviguer au portant dans des régions très ensoleillées, c'est à coup sûr plus intéressant qu'une éolienne qui aura du mal à tourner faute de vent apparent. Deuxième leçon à retenir : lorsque le soleil baisse, ou que le temps se couvre, la production chute très vite. De ce côté-là, il ne faut pas s'attendre à des miracles. Pour ce qui est de la production avec de faibles angles d'incidence, le modèle ERI-120FM (distribué par Navicom) a bien tiré son épingle du jeu puisqu'au cours de la première



Ces régulateurs Victron nous ont permis d'enregistrer toutes les données de production.



Le montage de notre banc d'essai. Chaque panneau était connecté à sa propre batterie afin de reproduire au mieux une situation réelle.

journée de tests ensoleillée, il a continué de produire jusqu'à 22 heures 30 alors que pour tous les autres, la production a cessé entre 20 heures et 21 heures. Enfin, pour ce qui est de l'effet des ombres, nous avons été frappés de constater que seul le panneau souple Solbian SP112Q était capable de maintenir une production significative dans ce cas de figure.

A noter également que les panneaux souples sont globalement aussi ef-

ficaces que les panneaux rigides. Le choix dépendra avant tout des possibilités de montage sur le bateau. A ce propos, on se saurait trop souligner l'intérêt des supports orientables. Uniteck, le fabricant de deux des panneaux testés ici, propose par exemple une gamme complète, inox, à partir de 139 euros pour une fixation sur balcon et de 89 euros pour un portique. En revanche, il s'est avéré que le panneau souple de ce fabricant était assez mal protégé par un revêtement très fragile. D'une manière générale, il faut éviter de trop marcher sur des panneaux fixés à plat pont, même s'ils sont censés pouvoir supporter occasionnellement ce genre de contrainte. Pour ces modèles également, il faut penser aussi que la température peut monter assez haut derrière les cellules (une chose que nous avons constatée en particulier, là encore, sur le modèle Uniteck souple). Un pont en stratifié ne craint certes pas grand-chose, mais d'autres matériaux peuvent pâtir d'une telle situation.

Les voiles solaires

Une idée lumineuse

Comme nous l'avons expliqué par ailleurs, la principale difficulté soulevée par l'utilisation de l'énergie solaire est liée à la faible densité de puissance du flux naturel qui arrive sur Terre. Pour illustrer les choses, on peut se pencher sur des exemples concrets. Le trimaran *Race for Water*, long de 35 mètres et large de 23, a besoin de 500 mètres carrés de panneaux solaires, soit 93 kilowatts de puissance crête, pour alimenter ses deux moteurs électriques et atteindre une vitesse maximale, somme toute assez modeste, de 9 nœuds. De même l'avion Solar Impulse a besoin d'une surface de près de 270 mètres carrés pour voler à un peu moins de 50 nœuds. Comme le précise d'ailleurs le site www.solarimpulse.com, il a ainsi « l'envergure d'un Boeing 747 (72 mètres), le poids d'une voiture (2,3 tonnes) et la puissance d'une petite moto. » Pour en revenir à nos voiliers de croisière, si l'on manque de surface sur le pont, pourquoi ne pas utiliser la surface des voiles ? Depuis quelques années, la société Solar Cloth System (www.solarclothssystem.com) à Mandelieu, a ainsi développé un tissu solaire conçu en particulier pour être posé sur des voiles (588 euros le mètre carré). Il va de soi que l'angle d'incidence du rayonnement, quand le soleil est au zénith, n'est pas des plus favorables, mais avec un soleil un peu plus bas et un peu de gîte sur la



A bord de cet Arcona 380 Z, pas moins de 2 kilowatts de panneaux solaires au total... en comptant la voile.

bonne amure... Et surtout, il est possible de poser des surfaces importantes, ce qui permet de compenser un rendement de surface moindre. Solar Cloth System a en outre développé un partenariat avec le chantier suédois Arcona, dont les course-croisière sont disponibles dans une version « Z » pour zéro émission, équipée de ce genre de voiles solaires et d'un moteur électrique Oceanvolt (VV n° 545).

LE SOLAIRE EN BREF

- **Puissance du Soleil :**
3,6 x 10²⁶ watts.
- **Puissance reçue sur Terre :**
1,7 x 10¹⁷ watts.
- **Puissance maximale reçue sur Terre sur un mètre carré :**
1 000 watts.
- **Puissance maximale produite par un panneau solaire d'un mètre carré :** 200 watts.
- **Puissance moyenne produite par un panneau solaire d'un mètre carré, en France métropolitaine :** 30 watts.