

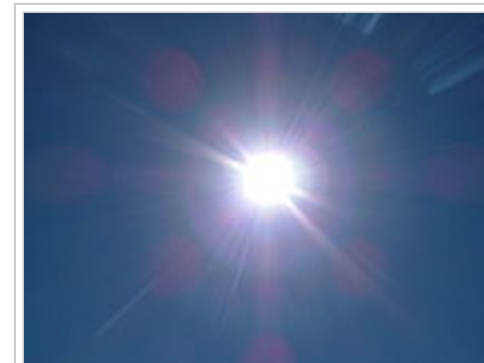
# Énergie solaire

L'**énergie solaire** est la fraction de l'énergie du rayonnement solaire qui apporte l'énergie thermique et la lumière parvenant sur la surface de la Terre, après filtrage par l'atmosphère terrestre.

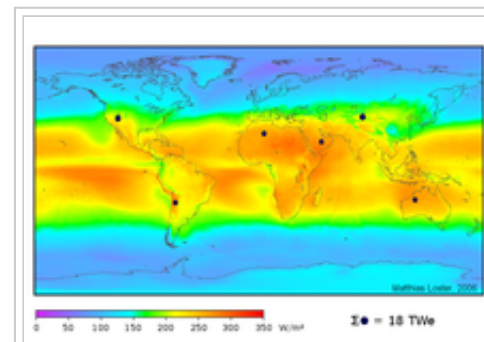
Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse réalisée par le règne végétal, dont dépend le règne animal via les chaînes alimentaires. Le Soleil est à l'origine de la plupart des énergies sur Terre à l'exception de l'énergie nucléaire et de la géothermie profonde<sup>1,2</sup>.

Les sources d'énergie issues indirectement de l'énergie solaire sont notamment : l'énergie hydraulique, dérivée de l'énergie cinétique de l'eau dont le cycle dépend du Soleil, l'énergie marémotrice issue principalement de l'effet des forces de gravitation de la Lune et plus faiblement de celle du Soleil et dépendant d'autres paramètres tels que la géographie des côtes<sup>3</sup>. Il y a également l'énergie éolienne provenant de l'énergie cinétique du vent lié au Soleil, à la rotation de la Terre et à l'effet Coriolis, l'énergie hydrolienne et l'énergie des vagues liées aux mouvements des océans et des cours d'eau, le bois énergie et l'énergie de la biomasse ainsi que la géothermie de très basse température, provenant des couches superficielles du sol réchauffées par le Soleil. On peut ajouter les énergies fossiles provenant de matières organiques créées par photosynthèse (charbon, pétrole, gaz naturel...) auxquelles s'ajoute l'énergie biochimique de la matière organique vivante.

Cet article traite de l'énergie produite par l'homme en captant le rayonnement émis par le Soleil, principalement sous forme électrique ou thermique. C'est l'une des principales formes d'énergies renouvelables.



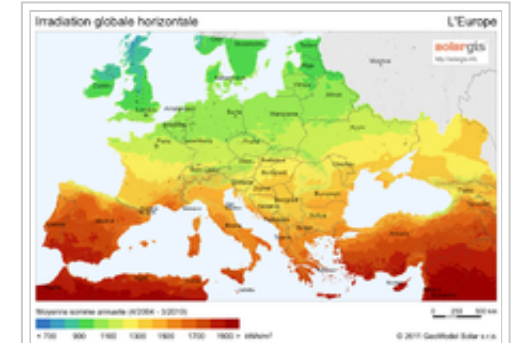
Rayonnement solaire direct.



Répartition de l'énergie solaire moyenne reçue au sol.

## Sommaire

- 1 Historique
- 2 Ressources solaires
- 3 Techniques pour utiliser l'énergie solaire
  - 3.1 Solaire passif
  - 3.2 Solaire thermique
    - 3.2.1 Énergie solaire pour la cuisson des aliments
  - 3.3 Solaire mécanique
  - 3.4 Solaire thermodynamique
    - 3.4.1 Centrales solaires thermodynamiques
    - 3.4.2 Moteur Stirling
  - 3.5 Solaire photovoltaïque
  - 3.6 La recherche
    - 3.6.1 En France
- 4 Aspect économique
  - 4.1 La filière solaire en France
- 5 Énergie solaire dans la société
  - 5.1 L'énergie solaire au quotidien
  - 5.2 Le développement des centrales thermiques
  - 5.3 Des panneaux sur les toits
  - 5.4 Du photovoltaïque à grande échelle
  - 5.5 Les projets de tours /cheminées solaires
  - 5.6 De l'énergie n'importe où
- 6 Chiffres
- 7 Notes et références
- 8 Annexes
  - 8.1 Bibliographie
  - 8.2 Articles connexes



Carte du rayonnement solaire en Europe.

## Historique

L'utilisation de l'énergie solaire remonte à l'Antiquité. Par exemple, les Grecs allumaient la flamme olympique grâce à un système de miroirs concentrant les rayons du Soleil.

Le Français Salomon de Caus construit en 1615 une pompe solaire, grâce à l'utilisation d'air chauffé par le rayonnement solaire.

Au xvii<sup>e</sup> siècle, François Vilette, opticien au palais de Versailles, conçoit un miroir en bronze (*appelé miroir ardent*) d'un mètre de diamètre, grâce auquel il fait des démonstrations de fusion d'objets<sup>4</sup>.

En 1747, Georges-Louis de Buffon expérimente un miroir qui concentre la lumière du soleil en un seul point focal. Il arrive à faire fondre un morceau d'argent (la température de fusion de l'argent est de 1 044 °C).

À la fin du xviii<sup>e</sup> siècle, grâce à une lentille à liquide qui concentre les rayons solaires, Antoine Lavoisier construit un four solaire qui atteint la température de 1 800 °C.

Dans les années 1780, H. B. de Saussure invente un instrument de mesure lui permettant d'étudier les effets calorifiques des rayons du soleil qu'il nomme « hélio thermomètre » ; cet instrument utilise l'effet de serre obtenu par un vitrage placé au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé ; il crée ainsi un capteur solaire thermique à basse température.

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, est découverte par Edmond Becquerel en 1839<sup>5</sup>, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique.

En 1875, Werner von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

En 1913, William Coblentz dépose le premier brevet pour une cellule solaire qui malheureusement ne pourra jamais fonctionner. En 1916, Robert Millikan sera le premier à produire de l'électricité avec une cellule solaire, mais pendant les quarante années suivantes, personne ne fera beaucoup de progrès en énergie solaire car les cellules photovoltaïques ont un trop mauvais rendement pour transformer la lumière du soleil en énergie. Le phénomène reste encore une découverte anecdotique.

Pendant l'année 1954, trois chercheurs américains (Chapin, Pearson et Prince) mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement (9 %) et les Laboratoires Bell construisent le premier panneau solaire mais il était trop coûteux pour être produit en série. C'est la conquête spatiale qui fera réellement progresser l'énergie solaire ; le panneau solaire est le seul moyen non-nucléaire d'alimenter des satellites en énergie, de plus l'énergie solaire est une source d'énergie constante pour les satellites en orbite. En effet, c'est en 1958 qu'a lieu le premier lancement d'un satellite fonctionnant à l'énergie photovoltaïque. L'industrie spatiale investira beaucoup de fonds dans le développement des panneaux solaires. C'est la première utilisation importante de la technologie solaire photovoltaïque.

Pendant les années 1970 et 1980, des efforts sont faits pour réduire les coûts de sorte que l'énergie photovoltaïque soit également utilisable pour des applications terrestres. L'énergie solaire connaîtra un second élan au cours du premier choc pétrolier dans les années 1970. Alors que le prix du pétrole augmente de façon spectaculaire, les panneaux solaires photovoltaïques commencent à être utilisés pour la première fois dans les maisons. En effet, en 1973, la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université du Delaware et en 1983, la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie. Depuis les panneaux solaires se sont développés lentement. Pendant longtemps, ils ont été considérés comme des sources d'énergies naturelles. L'énergie solaire est de nouveau en plein essor car on prévoit une pénurie de pétrole prochaine, on se préoccupe du réchauffement de la planète et les prix de l'énergie n'ont jamais été aussi hauts. L'énergie solaire devient une priorité pour de plus en plus de pays. Des centrales solaires sont en cours de construction dans le monde entier. Les entreprises investissent également. Les entreprises d'électricité et les gouvernements ont offert des subventions et des réductions pour encourager les propriétaires à investir dans l'énergie solaire pour leur maison. En effet, en 1995, des programmes de toits photovoltaïques raccordés au réseau ont été lancés, au Japon et en Allemagne, et se généralisent depuis 2001.

De nouveaux types de panneaux solaires ont été développés ; panneaux solaires très fins (4 mm d'épaisseur) et flexibles, des peintures solaires. L'objectif est de réduire très fortement le coût de l'énergie solaire.

En novembre 2015 une « Alliance internationale pour l'énergie solaire » (ou ISA pour « *International solar alliance* ») a été créée. Le projet en était porté par Narendra Modi (Premier ministre indien). Cette alliance doit réunir les États disposant d'importantes ressources solaires afin de mieux coordonner le développement de leur exploitation (thermique et photovoltaïque) via des actions de formation, de standardisation de matériels, de partage d'expériences, co-entreprises...). La cérémonie de lancement a eu lieu lors de la COP21 à Paris, organisée par l'Inde et la France<sup>6</sup>, avec le soutien du secteur privé selon Engie.

## Ressources solaires

---

Articles détaillés : rayonnement solaire, constante solaire et bilan radiatif de la Terre.

---

L'énergie solaire vient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du Soleil. Elle se propage dans le Système solaire et dans l'Univers sous la forme d'un rayonnement électromagnétique de photons.

L'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

- l'énergie solaire envoyée par le Soleil (fluctuations décennales, saisonnières, et ponctuelles).
- la nébulosité (nuages, brouillards, etc.), qui varie énormément d'un endroit à un autre. Celle-ci est forte à très forte dans les régions océaniques tempérées et subpolaires ainsi que dans les régions équatoriales alors qu'elle est faible à très faible dans les régions arides subtropicales ou polaires.
- la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du Soleil et donc sur l'énergie reçue au sol par unité de surface, ainsi que sur la nébulosité en



Un héliostat de la centrale solaire THEMIS.

fonction du climat local.

Globalement la Terre reçoit en permanence une puissance de 170 millions de gigawatt (soit 170 millions de milliards ou  $1,7 \times 10^{17}$  joules par seconde), dont 122 sont absorbés alors que le reste est réfléchi. L'énergie totale absorbée sur une année est donc de 3 850 zettajoules ( $10^{21}$  joules, ZJ) ; par comparaison, la photosynthèse capte 3 ZJ<sup>7</sup>, le vent contient 2,2 ZJ<sup>8</sup>, et l'ensemble des usages humains de l'énergie, 0,5 ZJ<sup>9</sup> dont 0,06 ZJ sous forme d'électricité<sup>10</sup>.

Le flux maximum d'énergie solaire reçu au sol terrestre se rencontre sous les tropiques secs (ou arides), c'est-à-dire dans les déserts chauds où les conditions météorologiques et géographiques sont optimales : basse latitude, vaste espace, ensoleillement ininterrompu, ciel clair, grande sécheresse de l'air. Le Sahara, le plus grand désert chaud du monde, est la région de la Terre qui reçoit le plus amplement la chaleur et la lumière du Soleil<sup>11</sup>. C'est en effet la contrée du globe où la durée de l'insolation moyenne est la plus élevée (jusqu'à 4 300 h/an soit entre 97 et 98 % du jour)<sup>12,13</sup>, et aussi celle où l'irradiation solaire moyenne est la plus grande, avec plus de 280 W/m<sup>2</sup> en moyenne sur l'année nuits comprises<sup>14,15</sup>.

Celles qui sont relativement proches de zones de consommation importantes dans les pays développés disposant de la technique requise pour capter l'énergie solaire, voient des réalisations de plus en plus importantes, comme dans le désert des Mojaves (Californie et Arizona) où se trouvent les plus grandes centrales solaires thermodynamiques au monde, notamment la centrale solaire SEGS d'une puissance totale de 354 MW<sup>16</sup> et celle de Solana d'une puissance de 280 MW.



Centrale solaire en Californie (SEGS - Kramer Junction).

## Techniques pour utiliser l'énergie solaire

Les techniques pour capter directement une partie de cette énergie sont disponibles et sont constamment améliorées. On peut distinguer le *solaire passif*, le *solaire photovoltaïque* et le *solaire thermique*.

### Solaire passif

La plus ancienne et certainement la plus importante, quoique discrète, utilisation de l'énergie solaire consiste à bénéficier de l'apport direct du rayonnement solaire, c'est-à-dire l'énergie solaire passive. Pour qu'un bâtiment bénéficie au mieux des rayons du Soleil, on doit tenir compte de l'énergie solaire lors de la conception architecturale (façades doubles, surface vitrée orientée vers le Sud, etc.). L'isolation thermique joue un rôle important pour optimiser la proportion de l'apport solaire passif dans le chauffage et l'éclairage d'un bâtiment.

Dans une maison solaire passive, l'apport solaire permet de faire des économies d'énergie importantes.

L'habitat passif désigne un bâtiment dont les dépenses d'énergie de chauffage sont réduites d'environ 80 % par rapport à une maison neuve construite selon les normes allemandes d'isolation thermique de 1995, normes déjà très exigeantes. L'énergie solaire passive permet donc de chauffer, tout ou partie,

d'un bâtiment pour un coût proportionnel quasi nul, en tirant parti des conditions d'un site et de son environnement, selon les principes de l'Architecture bioclimatique.

## Solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à utiliser la chaleur issue du rayonnement solaire. Ce rayonnement se décline de différentes façons :

- en usage direct de la chaleur : chauffe-eau, chauffage solaire dont cuisinières et sécheuses solaires par exemple ;
- en usage indirect, la chaleur servant pour un autre usage : rafraîchissement solaire, centrales solaires thermodynamiques, etc.



Le four solaire d'Odeillo.

## Énergie solaire pour la cuisson des aliments

Apparue dans les années 1970, la cuisine solaire consiste à préparer des plats à l'aide d'un cuiseur ou d'un four solaire. Les petits fours solaires permettent des températures de cuisson de l'ordre de 150 °C, les paraboles solaires permettent de faire les mêmes plats qu'une cuisinière classique à gaz ou bien électrique.

L'utilisation de l'énergie solaire pour la cuisson des aliments, au-delà d'être gratuite et abondante sur certaines zones géographiques, permet également de réduire la déforestation dans certains pays où la cuisine au bois et au charbon est la norme. Elle permet par la même occasion la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, d'environ 4 tonnes de CO<sub>2</sub> par an pour une famille africaine cuisinant au bois par exemple<sup>17</sup>.



Gâteau dans un four solaire Global Sun Oven.



Four solaire parabolique Alsol 1.4.



Cuisinière solaire modèle Scheffler : 16 m<sup>2</sup> et 3 kW de puissance nominale.



Four solaire de campagne (hauts-plateaux tibétains).

## Solaire mécanique



Concerne les appareils qui transforment un rayonnement (chaleur) solaire en mouvement mécanique qui peut, soit servir directement, soit être transformé en électricité. Le point commun à toutes les techniques est la concentration de l'énergie solaire via des concentrateurs solaires (héliostats, miroirs, etc.)<sup>18</sup>.

## Solaire thermodynamique

Le solaire thermodynamique est une technique solaire qui utilise le solaire thermique pour produire :

- soit de l'électricité, sur le même principe qu'une centrale électrique classique (production de vapeur à haute pression qui est ensuite turbinée).
- soit directement un travail mécanique en transformant un liquide en gaz<sup>19</sup> ou en chauffant directement une partie du moteur comme dans le moteur Stirling.

## Centrales solaires thermodynamiques



La centrale solaire Thémis.

---

Articles détaillés : Centrale solaire thermodynamique et Liste des centrales solaires thermodynamiques.

---

Une *centrale solaire thermodynamique à concentration* est un système qui concentre les rayons du soleil à l'aide de miroirs afin de chauffer un fluide caloporteur permettant de produire de l'électricité grâce à une turbine qui actionne un générateur d'électricité.

## Moteur Stirling

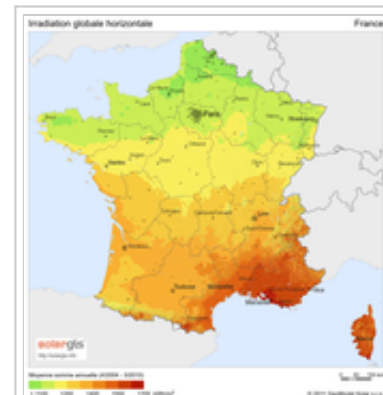
Des moteurs Stirling utilisant l'énergie solaire comme source chaude ont été conçus, c'est le cas par exemple du moteur « Stirling SOLO V160 » de la « *Plataforma Solar de Almería* », une première installation datant de 1992 initialement composée de trois unités paraboliques de 7,5 m diamètre en mesure de recueillir jusqu'à 40 kWth d'énergie au moyen du moteur et pouvait générer jusqu'à 9 kW en zone focale. Le projet fut suivi par une unité parabolique de 8,5 m, le moteur pouvant générer 10 kW<sup>20</sup>.

Parmi d'autres projets de ce type on peut citer la Sunmachine solaire qui a été présentée au salon des Énergies renouvelables à Paris, en juin 2008<sup>21</sup>.

## Solaire photovoltaïque



En Espagne, à la *Plataforma Solar de Almería*, moteur Stirling installé au foyer d'un miroir parabolique.



Carte de radiation solaire en France.



Cette section doit être **recyclée** (indiquez la date de pose grâce au paramètre *date*). [\[afficher\]](#)



Article détaillé : Énergie solaire photovoltaïque.

À l'échelle plus locale des villes, des cadastres solaires établis avec des modèles 3D permettent d'optimiser le positionnement des panneaux solaires. Ainsi un « cadastre solaire » sera disponible pour tous les Parisiens dès 2012<sup>22</sup>.

Le terme « photovoltaïque » peut désigner le phénomène physique<sup>23</sup> ou la technique associée. L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire par une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles dans un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire chez un particulier ou dans une centrale solaire photovoltaïque. L'installation solaire peut satisfaire, après transformation en courant alternatif, un besoin sur place (en association avec un moyen de stockage) ou l'électricité peut être injectée dans un réseau de distribution électrique (le stockage n'étant alors pas nécessaire).

En 2013 en France métropolitaine la part d'électricité produite par le photovoltaïque est de 0,75 %<sup>24</sup>.

## La recherche

La recherche mondiale actuelle dans le solaire porte surtout sur l'amélioration des systèmes (meilleur rendement) et une baisse des coûts des équipements<sup>25</sup>.



Le plus grand projet en chantier en 2014 se trouve aux États-Unis, l'Empire Valley Project, qui devrait en principe atteindre une puissance de 890 mégawatts. Commencé en 2012, les travaux devraient se terminer fin 2014.

Dans l'espace, l'énergie des photons provenant du soleil, le vent solaire, peut être utilisée par exemple pour propulser une voile solaire.

## En France

La recherche en France est surtout faite par le secteur privé, mais le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et le Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE) LNE ont inauguré en novembre 2010 à Chambéry, *Certisolis*<sup>26</sup> ; un laboratoire qui sera à la fois un lieu d'essais et de certification selon les standards internationaux NF EN 61215, NF EN 61646, NF EN 61730 et au regard des performances environnementales et énergétiques des modules photovoltaïques. Un trentaine de tests portent sur la production et la sécurité électriques (flash test ou simulateur pulsé, essais diélectriques et de tension, d'impulsion ou d'essais de foudre). Des essais climatiques et d'ensoleillement estiment les effets du vieillissement des modules, (en enceinte climatique, avec expositions au spectre solaire). Des tests mécaniques portent sur la résistance du module et du système de fixation.

## Aspect économique



**Cette section ne cite pas suffisamment ses sources** (indiquez la date de pose grâce au paramètre *date*).[afficher]



Sur le long terme, les prix du charbon, du gaz naturel et du pétrole augmentent avec l'épuisement de la ressource. Le solaire apporte une source virtuellement inépuisable d'énergie et la commission européenne pour les énergies renouvelables prévoit que l'énergie solaire représentera une proportion de 20 % dans les énergies renouvelables, celles-ci devant apporter 20 % de l'énergie en 2020 et 50 % en 2040.

Les systèmes de production d'énergie solaire ont un coût proportionnel quasi-nul : il n'y a pas de combustible, seulement des frais (entretien, gardiennage, réparation...) qui dépendent très peu de la production. Il faut cependant tenir compte des coûts d'investissement, beaucoup plus élevés que pour les techniques fossiles ou les autres renouvelables (éolien, hydraulique...).

L'usage de capteurs thermiques permet de produire de l'eau chaude sanitaire à faible coût. Une fois l'installation réalisée, l'entretien est très peu coûteux et permet de faire des économies substantielles de combustible fossile ou d'électricité.



Une laverie automatique en Californie fonctionnant grâce à l'énergie solaire.

En revanche, pour la production d'électricité, le coût de l'installation est important (pour le solaire thermodynamique) ou très élevé (pour le photovoltaïque), et ces techniques ne sont pas encore matures pour une généralisation. De nombreux pays ont donc mis en place des systèmes d'incitation financière (sous forme de détaxation, de subventions, ou de tarifs avantageux pour le rachat de l'énergie produite).

L'usage de systèmes de production d'énergie solaire se justifie aussi dans les situations où il est très coûteux de transporter des combustibles (fossiles) ou de procéder à un raccordement au réseau électrique, comme pour des appareils isolés (balises marines, horodateurs), ou dans des zones isolées ou peu peuplées. En France, l'électrification de nombreux refuges en montagne et de villages isolés (en Guyane) a été réalisée par des modules photovoltaïques, parfois couplés à un groupe électrogène d'appoint.

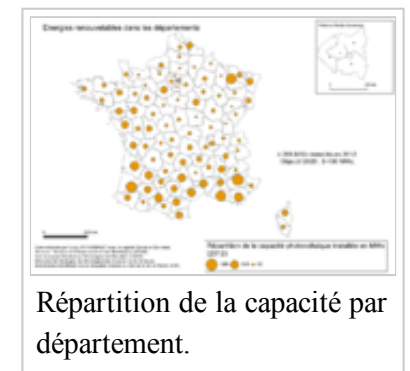
En dépit de sa profusion, et à cause de ses coûts d'investissements lourds, l'énergie solaire est aujourd'hui une énergie peu compétitive, sauf situations particulières, et qui ne se développe que grâce aux aides d'état. Toutefois, un nombre croissant d'acteurs estiment qu'il serait imprudent d'attendre les effets du pic de production du pétrole sur le prix (économique et politique) des énergies fossiles, ou ceux des éventuels changements climatiques dus à leur combustion (effet de serre) ; Quand ces phénomènes se manifesteront, il sera trop tard pour réagir, ce qui justifie un soutien des états à cette technique qui a un grand potentiel de réduction de prix, passant notamment par une augmentation de la production.

## La filière solaire en France

La filière solaire française a pâti, tout comme son homologue allemande, de la baisse du prix de rachat de l'électricité produite par énergie solaire: Photowatt, leader du secteur installé à Bourgoin-Jallieu (Isère) avec plus de 400 salariés, en a fait les frais, en étant contraint de déposer le bilan en novembre 2011 avant d'être rachetée par EDF Énergies Nouvelles Réparties en février 2012<sup>27</sup>.

Un pôle de compétitivité (Tenerrdis<sup>28</sup>) créé en 2007 regroupe une centaine d'acteurs de la filière solaire en France<sup>29</sup> (dont le CEA et 60 « PME innovantes »), participant à 43 projets labellisés bénéficiant d'un financement total de 100 M€<sup>30</sup>, visant à aider la France à rattraper son retard dans le domaine du solaire. Ce pôle travaille notamment sur l'amont de la filière, sur les équipements de production, les matériaux (silicium notamment), les cellules solaires, les panneaux PV et les systèmes électriques (6 500 emplois en France en 2010<sup>30</sup>).

En 2010 et 2011, Geneviève Fioraso, alors députée de l'Isère, vice-présidente de la communauté d'agglomération Grenoble-Alpes Métropole et administratrice du pôle Tenerrdis, a incité le gouvernement à au moins tripler l'objectif annoncé de 5,4 GW à l'horizon 2020, afin de notamment répondre aux objectifs du Grenelle de l'environnement. Elle appelle également les grands groupes à investir dans la filière en France en alertant sur les retards pris pour la seconde phase de l'INES en raison de financements qui ont été bloqués. Selon Jean-Pierre Vial, sénateur UMP et vice-président du conseil général de la Savoie, co-président de l'INES et administrateur du pôle Tenerrdis, si ces projets d'investissement sont bloqués et que les grands groupes l'investissement pas en France c'est également parce qu'il y a une responsabilité de la part de l'État qui ne s'est pas assez investi dans cette filière<sup>31</sup>.



Fin 2010, TENERDIS avait - depuis sa création - labellisé plus de 400 projets de recherche et développement, dont 146 aidés à hauteur de 142 M€ (pour un budget global de 322 M€). 41 projets de R&D ont concerné le solaire photovoltaïque (labellisés et financés)<sup>32</sup>.

Un procédé *Photosil* (silicium métallurgique) a été soutenu par l'INES, Apollon Solar et FerroAtlantica avec une pré-production industrielle annoncée pour 2011. Des fabricants français de silicium cristallin et applicatifs (ECM Technologies, Vesuvius, Mersen (ex-Carbone Lorraine), Emix et Photowatt Technologies) se font connaître dans le monde<sup>30</sup>. SolarForce et S'tile innove dans les technologies couches minces. Concentrix (racheté par Soitec), et Heliotrop se développent sur le domaine du photovoltaïque à concentration<sup>30</sup>. Le premier champ français opérationnel de trackers, qui comprend quatre-vingts unités réparties sur un peu plus de deux hectares, réalisé par Concentrix, se trouve en production sur la commune de RIANS, non loin du CEA de Cadarache, dans le département du Var. Son raccordement au réseau ERDF sera effectif en mai 2011.

L'INES et le consortium PV Alliance (Photowatt, EDF ENR et le CEA) ont monté un projet NanoCrystal (190 M€) qui devrait permettre de produire des cellules à haut rendement et peu chères (unité pilote de démonstration LabFab (25 MW) en cours), avec un projet PV20 (porté par MPO Énergie). Nexcis et Screen Solar travaillent de leur côté aux couches minces CIGS. Le procédé Nice (New Industrial Cell Encapsulation) développé avec l'INES, Apollon Solar et Vincent Industries. Il assemble des cellules solaires sous vide, sans soudure (chaînes en cours de montage en France et Tunisie en 2010)<sup>30</sup>. Des projets d'usines d'assemblage de panneaux PV étaient portés en 2010 par Tenesol et Photowatt, mais aussi Sillia, Auversun, Fonroche, Solarezo, France Watts, Elifrance qui s'appuient sur des fournisseurs de composants et matériaux tels que Micel Films, Toray, Arkema, MAP, Saint-Gobain, Versaplast, A. Raymond, Air Liquide, Komax, Semco Engineering, Machines Dubuit, check Up Solar, IBS, Ardeje<sup>30</sup>, etc.

La filière aval a vu naître de nouvelles entreprises (Nexans, Ogire, Schneider Electric, Radiall, Heliotrop, Exosun, Greenercos, Fleet technologies, EHW Research, Multicontact)<sup>30</sup>.

En 2012, le groupe Total revendique être « le premier employeur de l'industrie solaire en France avec deux usines de fabrication de panneaux solaires et plus de 400 salariés »<sup>33</sup> : il est en effet propriétaire de Sunpower, qui doit ouvrir une usine à Porcellette, en Moselle, ainsi que de Tenesol<sup>33</sup>. Avec les DOM, la France atteint alors une puissance photovoltaïque installée de 4 286 MWc.

## Énergie solaire dans la société

### L'énergie solaire au quotidien



**Cette section ne cite pas suffisamment ses sources** (indiquez la date de pose grâce au paramètre *date*).[afficher]



Chargeurs de batteries, ventilateurs, lampes de jardin, pompes hydrauliques, tables<sup>34</sup>, etc. De plus en plus d'appareils peuvent fonctionner à l'énergie solaire. On peut désormais emporter dans son sac un GPS équipé d'un chargeur solaire, et des panneaux photovoltaïques se multiplient sur les toits. Indispensable à la vie sur Terre, le Soleil peut nous rendre de nombreux autres services : chauffer nos habitations, alimenter en énergie les lieux les plus

reculés.

Dans le monde, des projets de centrales électriques voient le jour presque partout, basés sur un immense potentiel : « 5 % de la surface des déserts permettrait de produire toute l'électricité de la planète », affirment Patrick Jourde et Jean-Claude Muller<sup>35</sup>, chercheurs au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et au CNRS.

Il existe également des moyens de transport individuels, du vélo à assistance électrique à la voiture électrique, en passant par le scooter et la moto électrique, pour des puissances de 500 W à 45 kW (60 ch) voire plus. Certaines voitures électriques peuvent être rechargées par une production individuelle (dans les bonnes conditions climatiques).

Le principal obstacle à l'exploitation industrielle de l'énergie solaire est son intermittence dans la plupart des régions ayant un besoin régulier d'énergie. Pour cette raison, l'avenir de cette ressource énergétique est intimement lié à l'amélioration des techniques de stockage et de transport de l'énergie, notamment électrique.

Dans les années 1990 apparaissait la calculatrice de poche solaire. Quelques cellules photovoltaïques y remplaçaient avantageusement les piles électriques, toxiques pour l'environnement. En 2013, des magasins dédiés à l'écologie, mais aussi des enseignes plus grand public, proposent de nombreux objets fonctionnant à l'énergie solaire : torches, lampes de jardin, radioréveils, mobiles animés, montres... Preuve que l'énergie solaire séduit les consommateurs par l'image « verte » qu'elle véhicule. Son autre atout est son côté nomade : des chargeurs solaires permettent désormais d'alimenter en électricité, où que l'on se trouve, un téléphone mobile, un GPS ou un ordinateur portable. Pour les voyageurs au long cours, il existe même des sacs à dos équipés de capteurs solaires. Certains imaginent des vêtements également dotés de cellules photovoltaïques, pour y brancher directement son baladeur MP3 ou même son téléphone portable.



## Le développement des centrales thermiques

Article détaillé : Centrale solaire thermodynamique.

Le principe d'une centrale électrique thermique solaire est de concentrer les rayons du Soleil, à l'aide de miroirs paraboliques, vers des tubes ou une chaudière contenant un fluide caloporteur. La chaleur ainsi récupérée est transmise à de l'eau. L'eau se transforme en vapeur, qui actionne une turbine couplée à un générateur produisant de l'électricité.

L'Espagne mise sur cette technologie plutôt que sur le photovoltaïque, dont le coût de production s'avère plus élevé en raison du prix du silicium des cellules photoélectriques. L'Espagne possède depuis 2009 la plus puissante centrale solaire thermique d'Europe 'Andasol', d'une puissance de 150 MW. Quelque 400 000 miroirs, soit une superficie de 1,5 million de mètres carrés, recueillent l'énergie du Soleil et approvisionne en électricité 45 000 foyers<sup>36</sup>.

Le Maroc aussi s'est lancé début 2010 (profitant de son désert), avec un investissement de 2 milliards d'Euros, dans la construction d'une des plus grandes centrales solaires à concentration du monde à Ouarzazate d'une puissance de 500 MW, sur 3 040 hectares<sup>37</sup>. Elle sera suivie par 4 autres centrales à concentration qui ont été programmées dans le cadre du plan solaire marocain Desertec. L'objectif est d'installer 2 000 MW sur 5 sites dans les prochaines années, soit une puissance supérieure à celle d'un réacteur nucléaire de nouvelle génération (EPR)<sup>38</sup>.

Aux États-Unis, l'entreprise Florida Power & Light a annoncé l'ouverture pour fin 2010 d'une centrale solaire de 190 000 miroirs<sup>39</sup> et 75 MW. Elle se situe en Floride sur la côte orientale, au nord du comté de Palm Beach et s'étend sur plus de 200 hectares<sup>39</sup>.

## Des panneaux sur les toits

---

Les panneaux photovoltaïques convertissent la lumière du Soleil en électricité. Des années 2000 à 2013, en France et en Belgique, grâce aux aides fiscales de l'État, les particuliers ont été de plus en plus nombreux à s'en équiper. En France le producteur a le choix entre l'auto-consommation et la vente de l'intégralité de sa production à EDF qui est tenue depuis 2002 de racheter l'électricité d'origine renouvelable produite par les particuliers ou les collectivités.

À la suite d'une augmentation plus forte que prévu des demandes de raccordement d'installations photovoltaïques, un moratoire avait été décidé en décembre 2010 par l'État français pour les installations de plus de 3 kWc : « L'obligation de conclure un contrat d'achat de l'électricité produite par les installations mentionnées au 3° de l'article 2 du décret du 6 décembre 2000 susvisé est suspendue pour une durée de trois mois courant à compter de l'entrée en vigueur du présent décret. Aucune nouvelle demande ne pouvait être déposée durant la période de suspension »<sup>40,41</sup>, moratoire critiqué par les parties prenantes impliquées dans des opérations déjà lancées ou que l'État devait financer<sup>42</sup>.

Malgré ces moratoires, la puissance solaire installée début 2012 sur les toits et dans les parcs solaires équipés de cellules photovoltaïques représentait 2 672 MW en France<sup>43</sup> et 1 500 MW en Belgique<sup>44</sup>. À titre de comparaison, en 2010, plus de 7 400 MW photovoltaïques ont été vendus et raccordés au réseau en Allemagne (pays leader dans le domaine photovoltaïque)<sup>45</sup> pour un parc installé total de 17 320 Mégawatts.

Une nouvelle génération de panneaux, dit panneaux solaires hybrides, apparaît en 2010 sur le marché, produisant à la fois des thermies et de l'électricité, avec un rendement photovoltaïque amélioré grâce au fait que le panneau est refroidi en exportant (et valorisant) les calories qu'il a accumulées.

Un enjeu prospectif, notamment identifié par Jeremy Rifkin avec son concept de troisième révolution industrielle, est d'associer une domotique poussée à un réseau *Smart grid* (il parle d'un « Internet de l'énergie » pour orienter le surplus d'électricité produite vers le besoin le plus proche afin d'éviter les pertes en lignes ou liées au stockage/déstockage). Les toitures pourraient ainsi devenir l'équivalent de vastes centrales solaires dont les éléments sont *distribués* au plus près des besoins. Des véhicules électriques peuvent aussi servir de *stockage tampon* du surplus d'électricité produite. Vers 2010 apparaissent des outils logiciels et modèles 3D permettant d'idéalement positionner les panneaux solaires dans les villes, également utile pour prévoir l'ensoleillement de terrasses végétalisées, ainsi un « cadastre solaire » sera disponible pour tous les Parisiens en 2012<sup>46</sup>. Ces mêmes outils peuvent généralement intégrer la thermographie aérienne qui permet éventuellement de profiter d'opérations de rénovation thermique de toiture pour les remplacer par des panneaux solaires.

## Du photovoltaïque à grande échelle

En 2011, les centrales solaires photovoltaïques les plus puissantes au monde sont celles de Sarnia<sup>47</sup> au Canada, de Finsterwalde en Allemagne et d'Okhotnykovo en Ukraine. Occupant chacune plus de 300 hectares et avec une puissance installée d'environ 80 MWc. Elles sont composées de plus d'un million de panneaux photovoltaïques fixes, dans la plupart des cas ou pouvant s'orienter automatiquement vers le Soleil, pour les autres.

- En France : après les centrales de Chambéry, inaugurée en 2005, la Réunion, en 2006 et la centrale de Narbonne, construite en 2007/2008 (10 MWc, environ 10 120 MWh/an, avec 80 000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques<sup>48</sup>), les plus grandes centrales solaires photovoltaïques en service fin 2011 étaient celles de Losse dans les (Landes) ; construite par EDF énergies nouvelles et achevée depuis mi-2011 ; elle comprend 300 ha de panneaux majoritairement fixes avec une puissance crête de 67,2 MW<sup>49</sup>. La 2<sup>e</sup> (par la puissance) en 2011 était celle des Mées (31 MWc) dans les Alpes de Haute Provence<sup>50</sup>. La plus grande centrale solaire photovoltaïque en service en France en 2016 est celle de Cestas au sud de Bordeaux ; sa puissance crête atteint 300 MW. C'est une des 10 plus puissantes centrales solaires au monde.
- La Suisse s'est elle aussi lancée dans la course au solaire et en Allemagne, les 57 000 panneaux du Bavaria solarpark fonctionnent depuis 2005 (10 MWc) ; ils ont été suivis par les centrales de Brandis, 40 MWc en 2009 et de Finsterwalde, 80 MWc en 2011.
- Le 27 octobre 2009, le président Barack Obama a inauguré la plus grande centrale solaire des États-Unis à DeSoto près de Miami. Équipée de plus de 9 000 panneaux, la centrale d'une puissance de 25 MWc permet de fournir plus de 3 000 foyers<sup>51</sup>.
- L'Inde a fait du solaire l'une de ses grandes priorités, Narendra Modi, s'est juré de faire de son pays une nouvelle puissance dans ce domaine, à savoir plus de 420 000 panneaux photovoltaïques ont été installés au nord-ouest de l'Inde<sup>52</sup>.

## Les projets de tours /cheminées solaires

Dans une cheminée solaire, un vaste collecteur solaire en verre chauffe de l'air, lequel en montant à grande vitesse dans la tour, actionne des turbines générant de l'électricité. Un premier prototype avait été mis en service en 1982 à Manzanares en Espagne ; on envisagea ensuite la construction d'une tour solaire de 750 mètres de hauteur, capable d'alimenter 120 000 foyers. L'Australie a étudié la possibilité de construire une tour de près de 1 000 mètres de hauteur à Buronga qui devait fournir en 2010 l'équivalent de la consommation de 200 000 foyers, cette tour n'a jamais été construite.

## De l'énergie n'importe où

Dans les pays suffisamment proche de l'équateur terrestre, où l'ensoleillement est souvent très important, le solaire peut fournir aux régions rurales et urbaines une énergie décentralisée pour l'éclairage et l'alimentation des réfrigérateurs, pompes hydrauliques, installations de télécommunication, etc.

Soutenus par des ONG, des projets d'électrification de villages sont en cours dans de nombreux pays d'Afrique et d'Amérique du Sud<sup>53</sup>.

## Chiffres

- L'énergie solaire totale absorbée par l'atmosphère terrestre, les océans et les masses continentales est approximativement de 3 850 000 exajoules (EJ) par an<sup>54</sup> ; en 2002, c'est plus d'énergie reçue en une heure que l'humanité n'en utilise pendant une année<sup>55</sup>.
- En France, 10 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques produisent chaque année environ 1 000 kWh d'électricité, de sorte qu'une surface de 5 000 km<sup>2</sup> de panneaux (soit 1 % de la superficie) permettrait de produire l'équivalent de la consommation électrique du pays<sup>56</sup>.
- Le parc photovoltaïque mondial représentait à la fin 2010 plus de 34 GW, en augmentation de 70 % depuis 2009<sup>57</sup> ; l'énergie ainsi produite est d'environ 40 TWh, soit 2,5/1000 de l'ensemble de l'électricité produite dans le monde (40 TWh contre 16 000 TWh<sup>9</sup>).



Lampadaire solaire à Elinkine, un village de Casamance (Sénégal).

## Notes et références

1. L'énergie géothermique profonde est produite par la radioactivité des roches qui constituent la croûte terrestre depuis sa formation. Cette géothermie profonde est aussi en faible partie due au déplacement orbitale non circulaire de la terre autour du soleil ; en effet, la terre ne subissant pas les mêmes forces d'attraction selon sa situation autour du soleil, celle-ci subit une compression et une décompression qui contribue à son réchauffement interne.
2. **(en)** Joe Anuta, « Probing Question: What heats the earth's core? » (<http://www.physorg.com/news62952904.html>), sur *physorg.com*, 30 mars 2006 (consulté le 19 septembre 2007)
3. (cf. l'estuaire de la Rance, Le Mont-Saint-Michel).
4. Miroir ardent de Louis XIV ([http://sciences.chateauversailles.fr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=157&Itemid=404\\_&lang=fr](http://sciences.chateauversailles.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=157&Itemid=404_&lang=fr)) Science.chateauxversailles.fr, retrieved 1 September 2013
5. Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière en électricité. (<http://lenergie-solaire.fr/energie-solaire-photo-voltaïque.php>) Sur le site l'énergie-solaire.fr - consulté le 12 mai 2012
6. *L'Inde et la France lancent l'Alliance internationale pour l'énergie solaire* (<http://www.environnement-magazine.fr/presse/environnement/actualites/6234/>), 1er décembre 2015
7. **(en)** « Energy conversion by photosynthetic organisms » (<http://www.fao.org/docrep/w7241e/w7241e06.htm>), organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (consulté le 25 mai 2008)
8. **(en)** Archer, Cristina, Jacobson, Mark, « Evaluation of Global Wind Power » ([http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/global\\_winds.html](http://www.stanford.edu/group/efmh/winds/global_winds.html)), Stanford (consulté le 3 juin 2008)
9. **(en)** « World Consumption of Primary Energy by Energy Type and Selected Country Groups, 1980-2004 » (<http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table18.xls>),



- Energy Information Administration (consulté le 17 mai 2008)
10. **(en)** « World Total Net Electricity Consumption, 1980-2005 » (<http://www.eia.doe.gov/iea/elec.html>), Energy Information Administration (consulté le 25 mai 2008)
  11. **(en)** Principles of Ecology in Plant Production (<https://books.google.fr/books?id=Yqxt9AmQr4EC&pg=PA71&dq=Sahara+highest+solar+radiation&hl=fr&sa=X&ved=0CCAQ6AEwAGoVChMIJtSAxdLpxwIVTFoaCh0c1QBW#v=onepage&q=Sahara%20highest%20solar%20radiation&f=false>)
  12. Fun and creative problems for kids ([https://books.google.fr/books?id=e4oRQCseVYoC&pg=PT94&dq=Sahara+Desert+4,300+hours+of+sunshine&hl=fr&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMIrr\\_ZsvGWyAIVQlcaCh32uAh0#v=onepage&q=Sahara%20Desert%204%2C300%20hours%20of%20sunshine&f=false](https://books.google.fr/books?id=e4oRQCseVYoC&pg=PT94&dq=Sahara+Desert+4,300+hours+of+sunshine&hl=fr&sa=X&ved=0CB0Q6AEwAGoVChMIrr_ZsvGWyAIVQlcaCh32uAh0#v=onepage&q=Sahara%20Desert%204%2C300%20hours%20of%20sunshine&f=false)), consulté le 6 novembre 2015
  13. The everything kids ([https://books.google.fr/books?id=jBdgJA7DDjMC&pg=PA73&dq=Sahara+Desert+4,300+hours+of+sunshine&hl=fr&sa=X&ved=0CEoQ6AEwBmoVChMIrr\\_ZsvGWyAIVQlcaCh32uAh0#v=onepage&q=Sahara%20Desert%204%2C300%20hours%20of%20sunshine&f=false](https://books.google.fr/books?id=jBdgJA7DDjMC&pg=PA73&dq=Sahara+Desert+4,300+hours+of+sunshine&hl=fr&sa=X&ved=0CEoQ6AEwBmoVChMIrr_ZsvGWyAIVQlcaCh32uAh0#v=onepage&q=Sahara%20Desert%204%2C300%20hours%20of%20sunshine&f=false)), consulté le 6 novembre 2015
  14. Electromagnetics and the environment (<https://books.google.fr/books?hl=fr&id=OCtRAAAAMAAJ&dq=Sahara+Desert++280+W%2Fm2&focus=searchwithinvolume&q=Sahara+>), consulté le 6 novembre 2015
  15. Thermodynamics of light energy conversion (<https://books.google.fr/books?hl=fr&id=I99SAAAAMAAJ&dq=Sahara+Desert++280+W%2Fm2&focus=searchwithinvolume&q=280+W%2Fm2>), consulté le 6 novembre 2015
  16. Une centrale solaire géante pour alimenter la Californie (<http://www.lemonde.fr/web/article/0,1-0@2-3504,36-759928@51-815122,0.html>) - Claudine Mulard, *Le Monde*, 11 avril 2006
  17. La cuisine et les ressources énergétiques (bois et charbon) ([http://atlas-cuisinesolaire.free.fr/cuisine\\_ressources\\_energetiques\\_nord\\_sud.htm](http://atlas-cuisinesolaire.free.fr/cuisine_ressources_energetiques_nord_sud.htm)) - *Atlas de la cuisine solaire*
  18. énergie mécanique thermodynamique (<http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=25243>), sur le site ademe.fr
  19. « L'idée n'est pas nouvelle : En 1828 Nous rapportons le fait suivant, sans toutefois en garantir l'exacte description : un meunier de l'Overijssel vient d'établir une nouvelle espèce de moulin à vapeur, mis en mouvement par le soleil au moyen d'un grand miroir ardent qui réfléchit sur la machine des rayons solaires, lesquels, en échauffant le liquide, développent une force de vapeur suffisante pour mouvoir et faire tourner ce nouveau moulin. » Dans François-Joseph-Michel Noël, Carpentier. *Nouveau dictionnaire des origines, inventions et découvertes ...* Librairie de Fréchet, 1828 (Lire en ligne ([http://books.google.be/books?id=W\\_9AAAAAcAAJ&dq=moulin%20%C3%A0%20vapeur&hl=fr&pg=RA1-PA56#v=onepage&q=moulin%20%C3%A0%20vapeur&f=false](http://books.google.be/books?id=W_9AAAAAcAAJ&dq=moulin%20%C3%A0%20vapeur&hl=fr&pg=RA1-PA56#v=onepage&q=moulin%20%C3%A0%20vapeur&f=false)))
  20. **(es)** Instalaciones con discos parabólicos (<http://www.psa.es/webesp/instalaciones/discos.php>), sur le site psa.es
  21. La Sunmachine solaire ([http://www.sunmachine.fr/prod\\_solar.htm](http://www.sunmachine.fr/prod_solar.htm))
  22. Où installer des centrales solaires à Paris ? (<http://www.batiactu.com/edito/ou-installer-des-centrales-solaires-a-paris--31780.php>), sur le site batiactu.com du 6 avril 2012
  23. l'effet photovoltaïque découvert par Edmond Becquerel en 1839
  24. Kurt Salmon, « Part d'électricité photovoltaïque dans la production totale d'électricité en France continentale » ([http://www.observatoire-energie-photovoltaïque.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=117&Itemid=585](http://www.observatoire-energie-photovoltaïque.com/index.php?option=com_content&view=article&id=117&Itemid=585)) (consulté le 17 février 2014)
  25. « Des énergies décarbonées pour un futur durable » - 19, *Énergies du <sup>xx</sup> siècle*, CEA
  26. **[PDF]** Inauguration de Certisolis (<http://www.lne.fr/publications/dossiers-presse/dossier-inauguration-certisolis-nov-2010.pdf>) Lne.fr, novembre 2010
  27. La reprise de Photowatt par EDF confirmée par la justice ([http://www.lemonde.fr/economie/article/2012/02/27/la-reprise-de-photowatt-par-edf-confirnee-par-le-justice\\_1648929\\_3234.html](http://www.lemonde.fr/economie/article/2012/02/27/la-reprise-de-photowatt-par-edf-confirnee-par-le-justice_1648929_3234.html)) lemonde.fr du 6 mars 2012
  28. Site officiel de Tenerrdis (<http://www.tenerrdis.fr/>)
  29. Évolution du nombre d'adhérents (<http://www.tenerrdis.fr/pole-energie/innovation-energie-renouvelable/financement-energie-renouvelable.html>), sur le site tenerrdis.fr
  30. *L'Écho du solaire*, Panneaux Cellules Matériaux Équipements France Technologies>Industrialisation (<http://article.lechodusolaire.fr/h/mensuel.php?MG=1&J=xvzvmflfa kafduay>) 26 janvier 2011
  31. PV : la filière industrielle française « amont » est déjà une réalité (<http://article.lechodusolaire.fr/?id=tvactmhs26011nrm>), sur le site lechodusolaire.fr du 26 janvier 2011
  32. **[PDF]** TENERRDIS apporte son soutien à la filière industrielle du photovoltaïque. ([http://www.tenerrdis.fr/communiqu%C3%A9\\_presse/files/tenerrdis\\_apporte\\_son\\_soutien\\_a\\_la\\_filiere\\_industrielle\\_du\\_photovolta%C3%89\\_911269.pdf](http://www.tenerrdis.fr/communiqu%C3%A9_presse/files/tenerrdis_apporte_son_soutien_a_la_filiere_industrielle_du_photovolta%C3%89_911269.pdf)); Communiqué de presse du 8 décembre 2010.
  33. Total garde le cap dans l'industrie solaire (<http://bourse.lefigaro.fr/devises-matieres-premieres/actu-conseils/total-garde-le-cap-dans-l-industrie-solaire-200259>), *J, Le Figaro économie*, 6 mai 2012.
  34. « Table SOL » (<http://sol-nrg.com/>), sur *SOL-NRG*, 23 janvier 2015 (consulté le 23 janvier 2015)

35. *Énergies alternatives*, sous la direction de Jean Bonal et Pierre Rossetti, Omnisciences, 2007
36. The Construction of the Andasol Power Plants. ([http://www.solarmillennium.de/front\\_content.php?idart=155&lang=2](http://www.solarmillennium.de/front_content.php?idart=155&lang=2)), sur le site solarmillennium.de, consulté le 16 avril 2015
37. **(en)** Desertec project, Maroc ([http://www.pv-tech.org/project\\_focus/desertec\\_project\\_morocco](http://www.pv-tech.org/project_focus/desertec_project_morocco)) PV-Tech, novembre 2011
38. « L'énergie solaire après Fukushima, la nouvelle donne (Medicilline 2011), Louis Boisgibault » ([http://archives.lesechos.fr/archives/cercle/2012/06/28/cercle\\_48755.htm](http://archives.lesechos.fr/archives/cercle/2012/06/28/cercle_48755.htm)), sur *Les Echos*, juin 2012
39. **(en)** Kate Galbraith, « A Solar Boost for the Sunshine State » (<http://greeninc.blogs.nytimes.com/2008/12/02/a-solar-boost-for-the-sunshine-state/>), *The New York Times*, 2 décembre 2008 (consulté le 20 avril 2009)
40. Décret du 9 décembre 2010, proposant un moratoire des aides, édicté dans le cadre d'un projet annoncé avant, de mise à plat des aides de l'État à la filière photovoltaïque
41. Lettre Batiactu, moratoire abaissé à trois mois (<http://www.batiactu.com/edito/photovoltaïque---le-moratoire-rabaisse-a-3-mois-27579.php>), 2010/12/10.
42. Lettre Batiactu, un moratoire qui fait débat (<http://www.batiactu.com/edito/photovoltaïque---un-moratoire-qui-fait-debat-27522.php>), 2010/12/03
43. **[PDF]** parc photovoltaïque France Q1 2012 : 2672 MW ([http://www.erdfdistribution.fr/medias/Donnees\\_prod/parc\\_prod\\_mars\\_2012.pdf](http://www.erdfdistribution.fr/medias/Donnees_prod/parc_prod_mars_2012.pdf)) ERDF, mai 2012
44. **(en)** **[PDF]** Market Report 2011 (EPIA) ([http://www.epia.org/index.php?eID=tx\\_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/EPIA\\_docs/publications/epia/EPIA-market-report-2011.pdf&t=1336908198&hash=9785add42a55c33e7526e105661cb9b4](http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIA-market-report-2011.pdf&t=1336908198&hash=9785add42a55c33e7526e105661cb9b4)) page 4
45. **[PDF]** **(fr)**+**(en)** Baromètre photovoltaïque, Chiffres Allemagne et France : pages 5 et 11 (<http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro202.pdf>) *Le Journal du photovoltaïque* n° 5 EUROBSERV'ER – avril 2011
46. Batiactu, Nouvel outil pour informer sur la géographie tridimensionnelle de l'ensoleillement des toitures de la Capitale ; un « cadastre solaire », bientôt disponible pour le public (<http://www.batiactu.com/edito/ou-installer-des-centrales-solaires-a-paris--31780.php>), 2012-04-06
47. **(en)** Enbridge completes Sarnia solar farm (<http://www.cbc.ca/technology/story/2010/10/04/sarnia-enbridge-solar-farm.html>) CBC news, le 5 octobre 2010
48. Narbonne accueille une centrale photovoltaïque géante (<http://www.usinenouvelle.com/article/narbonne-accueille-une-centrale-photovoltaïque-geante.N20661>) Sur le site usinenouvelle.com du 21 septembre 2007
49. EDF Énergies Nouvelles achève la mise en service de la centrale solaire de Losse - Gabardan (<http://www.plein-soleil.info/actualites/edf-energies-nouvelles-acheve-la-mise-en-service-de-la-centrale-solaire-du-gabardan-en-france/>) octobre 2011, plein-soleil.info
50. Inauguration de la grande ferme solaire des Mées (<http://www.enerzine.com/1/12788+inauguration-de-la-plus-grande-ferme-solaire-de-france+.html>), Enerzine.com, octobre 2011
51. « La Floride parie sur l'énergie solaire » (<http://www.voanews.com/french/US-Solar-Energy.cfm>), Voice of America, 28 octobre 2009 (consulté le 29 octobre 2009)
52. « L'Inde, nouveau paradis de l'énergie solaire » (<http://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/021856688193-linde-nouveau-paradis-de-lenergie-solaire-1215210.php>), sur *Les Echos*, 20 avril 2016 (consulté le 21 avril 2016)
53. Economie du solaire (<http://www.dtwinn.org/docdurable/soleco.html>), sur le site dtwin.org, consulté le 9 septembre 2015
54. **(en)** Smil, Vaclav. *General Energetics: Energy in the Biosphere and Civilization*, Wiley, 1991, ISBN 0-471-62905-7
55. **(en)** Solar energy: A new day dawning? (<http://www.nature.com/nature/journal/v443/n7107/full/443019a.html>), sur le site nature.com consulté le 7 août 2008
56. **[PDF]** Le développement du photovoltaïque en France ([http://www.enr.fr/docs/2009124702\\_SERKitPhotovoltaïque200903LDRGB02France.pdf](http://www.enr.fr/docs/2009124702_SERKitPhotovoltaïque200903LDRGB02France.pdf)), sur le site enr.fr
57. **(en)** Tendances 2010 pour le photovoltaïque, pages 8 et 9 figure 3b, NB : Chiffres à minima n'incluant que les pays membres de l' ([http://www.iea-pvps.org/index.php?id=92&eID=dam\\_frontend\\_push&docID=898](http://www.iea-pvps.org/index.php?id=92&eID=dam_frontend_push&docID=898)) AIE., sur le site [www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org), août 2011 **[PDF]**

## Annexes

## Bibliographie

Sur les autres projets Wikimedia :

- *L'énergie solaire après Fukushima, la nouvelle donne* (<http://www.sudoc.abes.fr/DB=2.1/SET=1/TTL=4/PRS=HOL/SHW?FRST=4>), Louis Boisgibault, Medicilline, octobre 2011.
- *Le Soleil au service de l'homme* Congrès international UNESCO, juillet 1973
- *L'Énergie solaire*, conférence internationale de Nice, 1977
- *Héliothermique. Le gisement solaire. Méthodes et calculs*, Pierre-Henri Communay, Groupe de Recherche et d'Édition, Toulouse, 2002, 530 p., 16x24 cm (ISBN 2-8413-9036-5).
- Julien LABBÉ (2006), *L'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés* ([http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/04/58/PDF/These\\_JLABBE.pdf](http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/04/58/PDF/These_JLABBE.pdf)) ; thèse de doctorat spécialité “Énergétique” ; École des mines de Paris, le 21 décembre 2006
- *Le solaire a rendez-vous avec la ville*, CNRS, 2015. (<https://lejournel.cnrs.fr/articles/le-solaire-a-rendez-vous-avec-la-ville>)

*Énergie solaire* ([https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Solar\\_thermal\\_energy?uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Solar_thermal_energy?uselang=fr)), sur Wikimedia Commons

## Articles connexes

---

- Agence internationale de l'énergie renouvelable
- Albédo
- Assombrissement global
- Centrale solaire orbitale
- Chargeur (électricité)
- Chauffage solaire
- Chauffe-eau solaire
- Choc pétrolier
- Commissariat à l'énergie solaire
- Distillation par four solaire
- Économies d'énergie
- Énergie propre
- Énergie solaire photovoltaïque
- Énergie solaire thermique
- Four solaire de Mont-Louis
- Héliostat
- Histoire de l'énergie solaire
- Institut national de l'énergie solaire
- Planetsolar
- Panneau solaire
- Panneau solaire aérothermique
- Solar Decathlon
- Solar Impulse
- Stockage d'énergie
- World Solar Challenge

---

Ce document provient de « [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Énergie\\_solaire&oldid=126424912](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Énergie_solaire&oldid=126424912) ».

Dernière modification de cette page le 23 mai 2016, à 11:29.

Droit d'auteur : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons attribution, partage dans les mêmes conditions ; d'autres conditions peuvent s'appliquer. Voyez les conditions d'utilisation pour plus de détails, ainsi que les crédits graphiques. En cas de réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer les auteurs et mentionner la licence.

Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc., organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.