

# Le solaire sort de l'ombre

Centrale solaire au Chili, construite par EDF dans le désert d'Atacama et visité dimanche 22 janvier par le président Hollande.

FABIAN ANDRÉS CAMBERO/  
REUTERS



JEAN-MICHEL BEZAT

Sans bruit, le monde vient d'entrer dans une nouvelle ère énergétique, celle du soleil. Le photovoltaïque n'est plus une lubie d'écologiste. Face à la pollution du charbon et à l'envolée des coûts du nucléaire, investisseurs et industriels jouent désormais ouvertement et massivement la carte du soleil. En 2015, pour la première fois, les nouvelles capacités de production à partir des énergies renouvelables (hors grands barrages) ont représenté 53,6 % de l'ensemble des nouveaux moyens de production raccordés aux réseaux, indique le 10<sup>e</sup> rapport annuel du Programme des Nations unies pour l'environnement publié en mars 2016 : 62 gigawatts (GW) d'éolien et 56 GW de solaire. Les capitaux mobilisés ont battu un nouveau record, à 265,8 milliards de dollars (247,5 milliards d'euros). On y investit désormais deux fois plus que dans les énergies fossiles (130 milliards) et le potentiel du solaire y est beaucoup plus important que celui des autres énergies renouvelables.

« L'année 2016 marquera un point de bascule », assure Thierry Lepercq, directeur général adjoint d'Engie chargé de l'innovation et de la recherche. « Retenez trois chiffres : 70 gigawatts, la capacité solaire additionnelle en 2016 [après 50 GW en 2015], plus que l'éolien ; 26 dollars, le prix d'un mégawatt-heure (MWh) du photovoltaïque sur un projet de 1 milliard de dollars à Abou Dhabi ; et zéro, le prix de l'électricité à certains moments au Chili. »

Pourquoi les centrales solaires photovoltaïques sont-elles devenues compétitives dans de nombreux pays et se développent sans les subventions massives reçues en Europe au début de leur déploiement ? Le phénomène doit beaucoup à la domination chinoise sur les équipements. Un mal pour un bien. Si elle a tué une partie de l'industrie occidentale, notamment allemande, elle a provoqué une chute des prix spectaculaire. « Dans les usines, l'automatisation a fortement réduit le taux de casse, explique Antoine Cahuzac, directeur général d'EDF Energies nouvelles. De plus, tous les fabricants innovent et produisent des cellules plus efficaces. Ils ont aussi augmenté leur durée de vie, qui peut atteindre trente-cinq ans contre vingt-cinq il y a cinq ans grâce à une plus grande fiabilité des matériaux. » Les panneaux sont devenus un produit de base fabriqué en grande quantité, comme les écrans plats de téléviseur.

Les renouvelables sont ainsi passées « du statut de niche au statut de solution préférée », assurait récemment Adnan Amin, directeur de l'Agence internationale des énergies renouvelables, basée à Abou Dhabi, en présentant son dernier rapport. « Les panneaux solaires en sont le meilleur exemple, souligne ce document. Leur coût a baissé de moitié depuis 2010 et devrait baisser encore de 60 % dans les dix prochaines années. »

Un phénomène plus conjoncturel s'est ajouté à cette tendance : la concurrence des producteurs de panneaux, qui a créé des surcapacités mondiales et tiré les prix vers le bas. M. Cahuzac s'attend, une fois ces stocks écoulés, à une remontée « marginale » des prix. Dans ce secteur très cyclique, la consolidation va se poursuivre et les nouvelles capacités installées devraient stagner

## Chute du prix des panneaux, afflux massif de capitaux et contraintes environnementales poussent les producteurs d'électricité, les industriels et de plus en plus de pays à jouer massivement la carte du soleil. La Chine fait pour l'instant la course en tête

en 2017 au niveau de 2016, prévoit le patron du chinois Trina Solar, deuxième fabricant mondial de panneaux, dans un entretien à l'agence Bloomberg.

Un signe qui ne trompe pas sur la maturité de cette énergie : les tarifs de rachat pour soutenir la filière sont remplacés, partout dans le monde, par des appels d'offres. Début 2016, 64 pays en avaient lancé dans le solaire (et l'éolien), « suscitant des offres historiquement basses (prix modiques, volumes élevés) dans les pays émergents », note le réseau international REN21.

### LES ÉMERGENTS EN POINTE

« Nous faisons du solaire photovoltaïque à 30 dollars le MWh au Mexique », note M. Lepercq. On en est encore loin en France, mais les prix baissent aussi. Pour les centrales au sol, moins coûteuses que sur le bâti, le prix a été divisé par six entre 2007 et 2014, où il

était encore situé dans une fourchette de 74 euros à 135 euros par MWh, rapporte l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, l'Ademe, qui escompte une nouvelle baisse de 35 % à l'horizon 2025.

L'Europe n'est pas le continent au potentiel le plus prometteur, même si l'Allemagne est un pays pionnier. Trois pays ont encore fourni en 2015 la majorité des capacités additionnelles : la Chine, le Japon et les États-Unis. Mais le boom est planétaire, particulièrement dans les pays émergents qui conjuguent fort ensoleillement, croissance soutenue de la demande d'électricité et cadre réglementaire sécurisé pour les investisseurs. « Cette révolution sert leur développement. Ils peuvent valoriser leur potentiel, et cela les affranchit de leur dépendance énergétique », se félicite Isabelle Kocher, directrice générale d'Engie, qui affiche notamment de grandes ambitions en Afrique.

La Chine reste une locomotive. Le solaire y enregistrera un doublement de ses capacités entre 2015 et 2020 pour atteindre 110 GW, selon l'Agence nationale de l'énergie. Et si elle est désormais électrifiée à 100 %, c'est grâce au solaire domestique (hors réseau). L'Arabie saoudite a défini un vaste plan en faveur des énergies renouvelables et le fonds souverain d'Abou Dhabi y investit depuis la fin des années 2000, dans la production de panneaux, les centrales et la recherche. Au Chili, privé de toute ressource fossile, le solaire pèse déjà 4 % du « mix » énergétique alors qu'il en était absent en 2012. Y compris pour alimenter des utilisateurs d'électricité aussi gourmands que les mines de cuivre.

### LES ÉLECTRICIENS CONVERTIS

Le solaire domestique a séduit le Bangladesh et les miniréseaux se développent en Afrique de l'Est (Kenya, Ouganda...) pour les villages enclavés. L'Inde prévoit un ambitieux plan de 100 GW de solaire d'ici à 2022. A l'initiative de son premier ministre, Narendra Modi, une « alliance internationale » en faveur de cette énergie a été créée fin 2015, en marge de la COP21, à Paris. Les 121 pays qu'elle rassemble s'engagent à assurer des transferts de technologies et à faciliter les financements dans tous les pays à fort potentiel solaire.

Résultat de ce changement d'échelle, toutes les grandes compagnies européennes d'électricité ont pris le virage du solaire, du français Engie à l'italien Enel. Jusqu'au géant

**TROIS PAYS ONT FOURNI EN 2015 LA MAJORITÉ DES CAPACITÉS ADDITIONNELLES : LA CHINE, LE JAPON ET LES ÉTATS-UNIS**

## Un essor conforté par des progrès techniques continus

SI L'ÉNERGIE SOLAIRE ne cesse de gagner en compétitivité, c'est, bien sûr, grâce aux économies d'échelle que permet une production en grands volumes, à la baisse du coût des matières premières (notamment du silicium) et à l'amélioration des procédés de fabrication. Depuis 2010, le prix des modules photovoltaïques a ainsi chuté d'environ 80 %. Mais c'est aussi en raison des progrès réalisés dans les technologies solaires elles-mêmes.

Avec 227 gigawatts (GW) installés fin 2015, la filière photovoltaïque (dans laquelle les particules de lumière, ou photons, excitent les électrons d'un matériau semi-conducteur qui produit alors un courant continu) domine le marché mondial. La filière thermodynamique (où des miroirs concentrent les rayons du soleil vers un fluide caloporteur qui chauffe un circuit d'eau pour générer de la vapeur actionnant une turbine) ne re-

présentait, à cette date, que 4,8 GW. On laisse ici de côté le volet thermique (avec lequel le rayonnement solaire est utilisé pour la production d'eau chaude ou le chauffage domestique), dont la capacité atteignait 435 GW.

Le rendement des panneaux photovoltaïques, ratio entre l'énergie solaire reçue et l'énergie électrique produite, « augmente en valeur absolue de 0,3 à 0,4 % par an en moyenne », indique Philippe Malbranche, directeur général de l'Institut national de l'énergie solaire (INES), qui regroupe, sur le site de Savoie-Technolac, 400 chercheurs et techniciens du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et de l'université de Savoie. Cela, pour les deux principaux types actuels de cellules : celles en silicium monocristallin, plus performantes mais plus chères, et celles en silicium polycristallin, plus économiques mais moins efficaces.

Les premières affichent un rendement de 18 % à 23 %, les secondes de 15 % à 20 %. Loin encore des 26 % obtenus en laboratoire, ou des plus de 45 % atteints par des prototypes qui ajoutent un dispositif optique pour focaliser les rayons solaires.

### « Cellules bifaciales »

D'autres progrès ont été réalisés, comme l'accroissement de la longévité des panneaux, qui est passée en un quart de siècle de cinq à trente ans, ajoute Pierre-Guy Therond, directeur des nouvelles technologies à EDF Energies nouvelles. A ses yeux, les avancées futures porteront sur « l'optimisation, non seulement de la face avant des modules, exposée au soleil, mais aussi de leur face arrière, pour limiter les pertes d'énergie », sur la mise au point de « cellules bifaciales », dont la face arrière pourrait exploiter la luminosité (avec un surcroît de produc-

tion pouvant atteindre 50 % sur des surfaces réfléchissantes comme la neige), ou encore sur des cellules faites de nouveaux matériaux, les pérovskites, qui pourraient porter leur rendement « à 30 % ou 35 % ». « Nous n'en sommes qu'au début de l'histoire du solaire », affirme M. Therond.

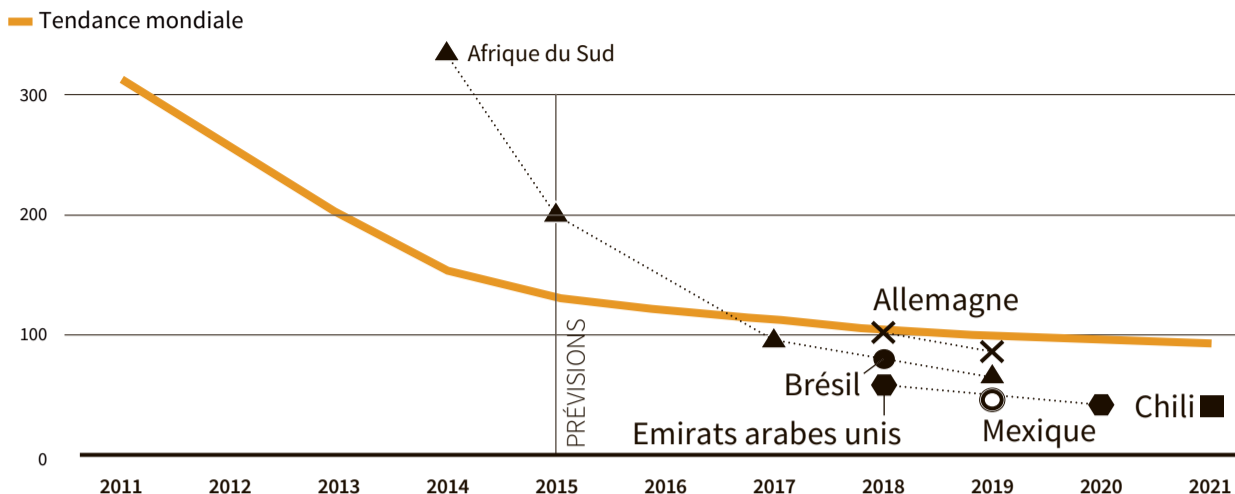
Pour Philippe Malbranche, « l'avenir est aussi dans la diversification des produits ». Des cellules organiques à base de polymères pourraient, malgré une faible durée de vie, trouver leur place en couverture de vitrages ou de téléphones portables. Et des modules photovoltaïques être intégrés dans des matériaux de construction, béton, tôle, verre, tuile, ardoise ou revêtement routier, comme la société Colas l'expérimente avec sa « route solaire ». « La diffusion massive de ces produits prendra une décennie, pense-t-il, deux peut-être, mais on y viendra. » ■

PIERRE LE HIR

## Une énergie en plein essor

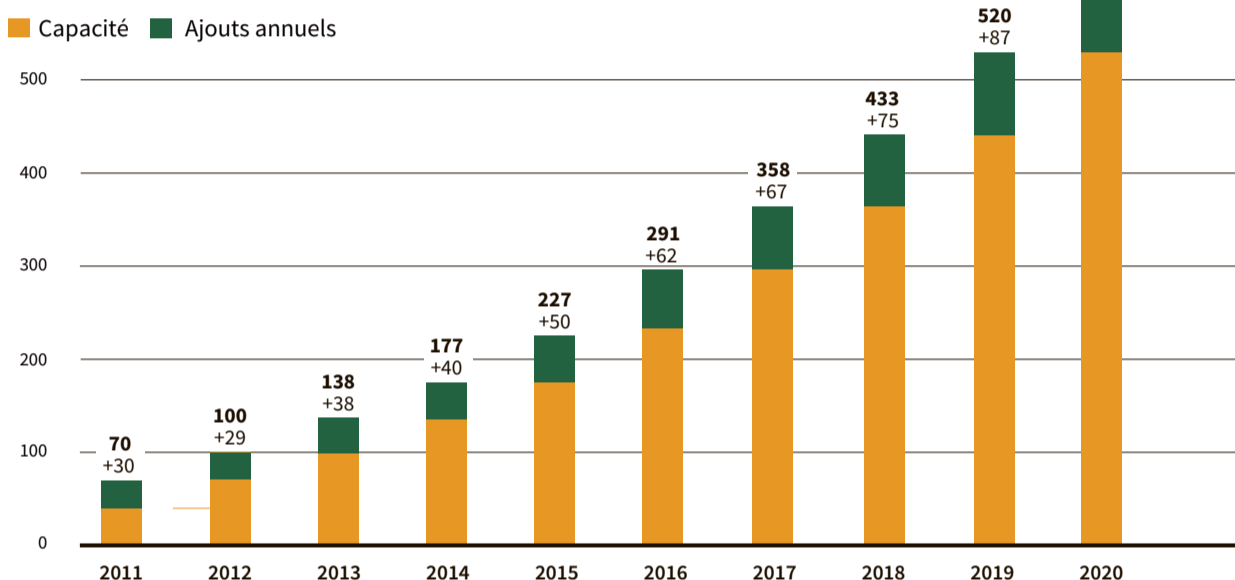
### Un coût toujours plus bas

ÉVOLUTION DU COÛT DE L'ÉNERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE EN DOLLARS PAR MÉGAWATTHEURE



### Des capacités de production toujours plus grandes

CAPACITÉ ET AJOUTS ANNUELS MONDIAUX EN GIGAWATTS



EDF, dont l'ADN nucléaire est en train de se modifier. Et toutes les grandes entreprises mondiales se tournent vers l'énergie solaire pour leur propre consommation, des leaders de la grande distribution Walmart, Procter & Gamble ou Ikea à Google pour refroidir ses énormes centres de données...

Certains pétroliers eux-mêmes croient aux vertus du solaire et s'y mettent. Aurait-on imaginé, il y a quelques années, que le patron de Total intervienne dans un cénacle des énergies vertes? Patrick Pouyanné expliquera, à l'occasion du colloque annuel du Syndicat des énergies renouvelables réuni le 31 janvier, pourquoi et comment il entend se développer dans l'électricité solaire après le rachat du fabricant californien de panneaux SunPower en 2011 et celui des batteries Saft en 2016.

Bien que, aujourd'hui, les panneaux solaires ne représentent que 1,5 % des capacités de production électrique installées, c'est le « mix électrique mondial » qui est en train de se redessiner, même s'il est encore très largement dominé par les énergies fossiles. M<sup>me</sup> Kocher estime qu'en 2050 la moitié de l'électricité pourra être produite par des énergies renouvelables décentralisées, surtout le solaire, l'autre moitié sortant des grandes centrales traditionnelles. Et quand on dresse le bilan carbone du solaire, il est positif.

Grâce à l'énergie propre et renouvelable que produisent depuis 1975 les panneaux solaires, ils auront compensé d'ici à 2018 les gaz à effet de serre émis pour les produire, indique une étude néerlandaise (université d'Utrecht) publiée fin 2016 dans le journal en ligne *Nature Communications*. Désormais, à chaque doublement de capacités solaires installées, l'énergie nécessaire pour produire les panneaux baisse de 12 % à 13 % et les gaz à effet de serre émis de 17 % à 24 %, ont calculé ses auteurs. En quarante ans, le nombre de panneaux solaires est passé de 10 000 à 1 milliard. Avec une durée de vie moyenne de trente ans, une ferme solaire remboursera « plusieurs fois » l'énergie nécessaire à la fabrication de ses équipements.

Et si le solaire rendait le nucléaire obsolète à un horizon pas si lointain, sachant que le charbon est condamné à plus ou moins longue échéance? Tout un symbole, quarante entreprises ont déposé une demande auprès des autorités ukrainiennes pour construire 2 GW de panneaux solaires... à l'intérieur de la zone d'exclusion radioactive entourant la centrale de Tchernobyl, où eut lieu en 1986 la pire catastrophe de l'histoire du nucléaire civil. L'envolée des

coûts pèse sur le prix du MWh produit : 109 euros pour les EPR anglais d'EDF.

« Jusqu'à présent, le nucléaire était le seul moyen de produire une électricité compétitive à grande échelle; ce n'est plus le cas, analyse M<sup>me</sup> Kocher. Le nouveau nucléaire a un espace de développement plus restreint qu'avant. » M. Cahuzac voit au contraire un avenir à l'atome, qui « ne répond pas aux mêmes besoins ». Un réacteur fournit une énorme quantité d'électricité vingt-quatre heures sur vingt-quatre et l'on peut faire évoluer sa puissance en moins d'une heure, plaide-t-il. Mais les énergies renouvelables s'imposent peu à peu comme une référence pour comparer les prix.

#### LA MENACE TRUMP

Patron du nouveau nucléaire chez EDF, Xavier Ursat reconnaît que l'« EPR nouveau modèle » en préparation chez EDF-Areva a un objectif : « Qu'il coûte moins cher en euros par kilowattheure que la moins chère des énergies renouvelables installée au même endroit à cette époque-là. » On n'en est pas encore là. Mais pour avoir une véritable estimation de la compétitivité du solaire (et des renouvelables en général), il faudrait supprimer toutes les subventions, qui sont beaucoup plus importantes en faveur des énergies fossiles.

Reste une menace qui plane aux Etats-Unis sur cette feuille de route brillante : l'arrivée à

## Pourquoi la Chine se couvre de panneaux photovoltaïques

**LE PROJET S'ÉTEND** sur des milliers d'hectares dans une zone désertique du Ningxia, une région peu développée mais très ensoleillée du centre de la Chine. A terme, cette ferme de panneaux solaires sera la plus grande du monde avec une capacité de plus de 2 gigawatts (GW). Derrière ce projet pharaonique se cache China Minsheng Investment Corp., une entreprise créée il y a seulement deux ans et demi. Aidés par de généreuses subventions, les projets de centrales solaires se sont multipliés en Chine ces dernières années. Au premier semestre 2016, près de 20 GW de capacités solaires ont été installés. C'est le niveau de production qu'espère atteindre la France en 2020.

En 2015, la Chine a dépassé l'Allemagne, alors premier pays producteur d'énergie solaire. Après une progres-

**AVEC UNE DURÉE DE VIE MOYENNE DE TRENTE ANS, UNE FERME SOLAIRE REMBOURSE PLUSIEURS FOIS L'ÉNERGIE NÉCESSAIRE À LA FABRICATION DE SES ÉQUIPEMENTS**

sion record en 2016 (+126 %), elle est désormais loin devant, avec 77,4 GW installés, dont 34,24 GW pour la seule année 2016, a indiqué l'Administration nationale de l'énergie, le 16 janvier. Malgré cette augmentation, le solaire ne représente que 1,3 % du mix énergétique chinois. A l'horizon 2020, la Chine prévoit de disposer d'au moins 110 GW de capacités en énergie solaire, selon le plan quinquennal pour l'énergie publié en novembre 2016.

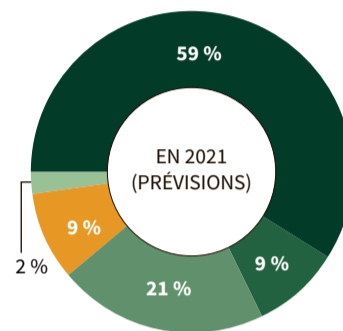
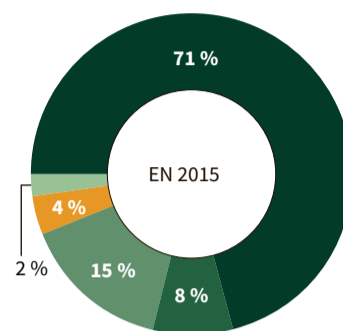
#### Pollution atmosphérique record

Pour les autorités, le calcul est simple : confrontée à des niveaux de pollution atmosphérique record, la Chine doit réduire sa dépendance au charbon. En même temps, grâce à une politique industrielle agressive, les entreprises chinoises dominent le marché de la production de pan-

### Une production en augmentation...

PRODUCTION MONDIALE D'ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE PAR SOURCE

● Hydraulique ● Bioénergie  
● Eoliennes ● Solaire  
● Autres énergies renouvelables



### La Chine, leader

PRINCIPAUX FABRIQUANTS DE MODULES PAR LIVRAISON EN MÉGAWATTS-CRÊTE

Trina Solar	Chine	5 740
Jinko Solar	Chine	4 512
Canadian Solar	Canada, Chine	4 384
JA Solar	Chine	3 673
Hanwha Q-Cells	Corée, Allemagne	3 306

SOURCES : AIE ; RAPPORT REN21 2016 ; GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR SOLAR POWER 2016-2020

### ... mais qui reste marginale

PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR SOURCE EN 2015



la Maison Blanche de Donald Trump, fervent défenseur du charbon, du pétrole et du gaz. Le 10 janvier, 640 grands groupes (Intel, Johnson & Johnson, Hewlett-Packard, Levi Strauss, Nike, Ikea, Adidas, Danone, Schneider Electric, L'Oréal...) lui ont tout de même adressé une mise en garde : « Echouer à construire une économie bas carbone mettrait en danger la prospérité américaine », lui ont-ils écrit en réitérant leur soutien à l'accord de Paris. Un investisseur aussi avisé que Bill Gates vient d'annoncer la création d'un fonds de 1 milliard de dollars chargé d'investir dans la recherche sur l'énergie et la limitation des émissions de carbone.

En quittant la Maison Blanche, Barack Obama avait souligné, à l'adresse de son successeur, que « le secteur solaire emploie désormais plus d'Américains que les mines de charbon dans des emplois mieux payés que la moyenne et qui ne peuvent être délocalisés ». Au niveau mondial, il fait en effet travailler 2,7 millions de personnes.

Soutenu par l'entrée en force du numérique dans le monde de l'énergie, le solaire est au cœur d'une « révolution » et le premier maillon d'une chaîne de valeur (stockage d'électricité, réseaux intelligents, Internet des objets de la maison, mobilité électrique, hydrogène...) qui apportera « beaucoup plus d'énergie, beaucoup moins chère et pour beaucoup plus d'usages ». ■

de capacités au premier semestre. Alors que la demande en hausse a encouragé les fabricants de cellules photovoltaïques à augmenter leurs capacités de production, le ralentissement soudain de la demande au second semestre a conduit à la surabondance qui tire les prix vers le bas.

Fin décembre 2016, la Chine a annoncé de nouvelles baisses de ses subventions en 2017. Le gouvernement espère un développement plus progressif des renouvelables. Or, 16,5 % des capacités solaires avaient été gaspillées au premier trimestre, et jusqu'au tiers de la production dans certaines provinces. La faute à un réseau électrique peu adapté aux afflux intermittents d'électricité issue des renouvelables, et à la concurrence du charbon. ■

SIMON LEPLÂTRE (SHANGHAÏ, CORRESPONDANCE)