

Global Electrification

Lettre Géopolitique de l'Electricité

☞ Nos études se retrouvent sur www.geopolitique-electricite.fr

Directeur de la Publication:
Lionel Taccoen
 Tél : 0660469030
Rédactrice en chef :
Emma Legrand

Lettre Géopolitique de l'Electricité N°56 – Octobre 2015

Notre Lettre « Géopolitique de l'Electricité » est la seule publication sur ce thème en langue française. Elle est mensuelle.

Nous n'avons aucun objectif militant. Nous ne cherchons pas à sauver la planète ni à promouvoir le nucléaire ou le solaire. Nous tentons d'approcher la vérité, en décrivant par des données objectives le passé proche et le présent des secteurs électriques et de leur contexte. Les nombreuses prévisions concernant 2020, 2035, voire 2050, ne nous intéressent que pour l'étude de leur cohérence avec les données actuelles. Nos études sont inédites. Elles utilisent les données provenant directement des acteurs du terrain : réseaux de transport, compagnies d'électricité, rapports officiels nationaux ou internationaux, associations professionnelles ou ONG.

☞ Vous pouvez recevoir notre Lettre par simple demande par E-mail à geopolitique.electricite@gmail.com ou en vous inscrivant sur notre site.

Sommaire

L'Energie Solaire est-elle compétitive ?

L'énergie solaire est un grand espoir de l'Humanité et déclenche l'enthousiasme. Elle a suscité de gigantesques investissements qui ont provoqué de grandes avancées techniques. L'économiste Schumpeter a bien analysé les conséquences qu'un climat d'enthousiasme génère sur les investisseurs. Des bulles financières peuvent survenir, dont l'éclatement entraîne de multiples faillites, des pertes financières et des mises au chômage. Le solaire a déjà connu une péripétie de ce type en 2012-2013, entraînant de nombreuses disparitions d'entreprises y compris en Chine. La purge est passée et l'enthousiasme est revenu.

Pour décrire l'état actuel du secteur solaire, nous avons pris quelques précautions : nous nous sommes limités à l'étude de sa compétitivité, que nous avons définie de façon précise. Nous décrivons d'abord les faits, en plaçant prévisions et espoirs à la fin.

Les conclusions sont les suivantes :

- *le secteur solaire est désormais principalement constitué de grandes installations photovoltaïques relevant de l'industrie.*
- *les prix de l'électricité produite a chuté, mais le solaire reste non-compétitif, sauf cas particulier (dans certains déserts).*
- *les obstacles techniques et économiques à franchir pour atteindre la compétitivité sont redoutables, en particulier ceux relatifs à l'intermittence, par exemple le stockage de l'électricité.*

I) Vous avez dit compétitif ?

La définition de « compétitif » par l'Académie française est : « capable de supporter la concurrence ». Le mode d'emploi de cette définition est fourni par les règles de concurrence rigoureuses et précises de l'Union européenne.

Ainsi, la Commission européenne, dans un dernier texte concernant les aides aux énergies renouvelables écrit¹ :

« Il est notamment prévu, qu'au cours de la période comprise entre 2020 et 2030, les sources d'énergies renouvelables déjà implantées permettront d'alimenter le réseau à des prix compétitifs, ce qui implique que les subventions et les exemptions des responsabilités en matière d'équilibrage devraient être supprimées² de manière dégressive. »

Que l'absence de nécessité de subventions soit un critère de compétitivité rejoint le sens commun : une entreprise compétitive n'a pas besoin d'aides financières.

La seconde condition, « les exemptions des responsabilités en matière d'équilibrage » demande une explication. Les énergies renouvelables bénéficient dans l'Union européenne, en plus de subventions, de quelques avantages exceptionnels. L'une est la priorité d'injection. Ce qui signifie que l'électricité des autres centrales n'est ni achetée, ni prise par les réseaux électriques tant que toute l'électricité produite par les renouvelables n'est pas absorbée. Bref, les vendeurs d'électricité solaire ne connaissent pas d'invendus³. Combien d'entreprises et de commerçants apprécieraient un tel privilège ! Un second privilège, cité dans le texte européen, concerne effectivement les responsabilités d'équilibre des réseaux. Les renouvelables, dont le solaire, sont exemptées des responsabilités des écarts/déséquilibres qu'elles provoquent dans le système électrique en raison de leur intermittence, dans le cadre du maintien de l'équilibre offre-demande à tout moment.

Dans cette étude, nous ne prendrons pas en compte, pour des raisons de simplification, les avantages donnés à l'électricité solaire par ces deux derniers privilèges. C'est dire que notre étude est d'une grande mansuétude vis-à-vis de cette source d'électricité.

Nous choisissons comme seul critère de compétitivité de l'électricité solaire l'absence de nécessité de subventions.

La compétitivité est une notion purement économique. Les aides légales sont autorisées pour diverses raisons : recherche et développement, lutte contre le réchauffement climatique, sécurité d'approvisionnement, etc. Il ne faut pas confondre la compétitivité d'une source d'énergie et sa légalité, voire sa légitimité. Quelques exemples :

- Le projet de réacteur nucléaire EPR d'Hinkley Point, de la filiale d'EDF en Angleterre, recevra des aides financières identifiées et autorisées par la Commission européenne⁴. EDF n'a jamais caché la nécessité de ces aides.
Le projet nucléaire EPR d'Hinkley Point n'est pas compétitif.
- La centrale solaire de Cestas (Gironde), mise en service en octobre 2015 reçoit une aide légale de l'Etat français sous forme de tarif d'achat garanti. Son promoteur a affirmé que cette aide était nécessaire au projet⁵.
La centrale solaire de Cestas n'est pas compétitive.
- Le projet actuel de réacteur nucléaire d'Hanhiviki 1 à Fennovoima (Finlande) ne bénéficie d'aucune aide⁶.
Ce projet nucléaire est compétitif.

¹ Journal Officiel de l'Union Européenne, n°C 200 du 28 juin 2014- Communication n°2014/C 200/01- Art. 3.3.1.

² C'est nous qui soulignons.

³ Sauf, les cas rares actuellement de saturation du réseau.

⁴ Commission européenne –Communiqué du 8/10/2014

⁵ Déclaration de Xavier Barbaro PDG de Neoen, promoteur du projet le 26 mai 2015 à Tecsol.

⁶ Cf. World Nuclear News- 18/9/2015

Sans entrer dans des considérations extérieures à cette étude, disons que cette installation nucléaire relève d'une construction en série, ce qui n'est pas le cas pour le projet anglais cité précédemment. Le coût de son électricité sera de 40% de celui de l'EPR britannique.

- Le projet de centrale solaire de Laberinto (Chili) est mené par EDF Energies Nouvelles et le Japonais Marubeni à Sierra Gorda, dans le désert d'Atacama (Chili). L'installation ne bénéficiera d'aucune aide⁷.

Le projet de centrale solaire de Laberinto est compétitif.

Le lieu choisi pour l'implantation est l'une des régions du monde la plus propice à une installation solaire. Le coût de production, dans un endroit isolé, de l'électricité par d'autres moyens est élevé. Cela sera vrai également dans d'autres déserts (Moyen Orient...).

Pour traiter la question de la compétitivité du solaire, nous allons commencer par décrire quelques unes de ses caractéristiques actuelles.

II) La domination du solaire photovoltaïque

Une écrasante proportion (96%) de l'électricité d'origine solaire est produite par la méthode photovoltaïque⁸. Les raisons principales sont la chute spectaculaire du prix des panneaux photovoltaïque depuis vingt ans, et l'espoir qu'elle continuera.

De 2004 à 2012, l'Humanité a investi dans l'électricité solaire plus de 700 milliards de \$, et vraisemblablement de l'ordre de 1000 milliards de \$ jusqu'à fin 2015. Une somme largement supérieure à celle nécessaire à l'accession à l'électricité de la foule d'êtres humains qui en sont privés (un milliard deux cents millions d'individus)⁹. L'essentiel de ce financement fut consacré au photovoltaïque.

Nous allons nous limiter, dans cette étude, à l'électricité photovoltaïque, qui correspond aujourd'hui à l'essentiel de la filière solaire et au concentré de ses espoirs.

De par le monde, et depuis vingt ans, d'énormes investissements, environ mille milliards de \$, ont été consacrés à la production de l'électricité photovoltaïque. D'immenses progrès techniques ont été réalisés.

Où en sommes-nous, après ces gigantesques efforts ?

Les dernières statistiques officielles¹⁰ de l'Agence Internationale de l'Energie indiquent pour 2013:

- ***2,3% de la puissance installée de l'ensemble des centrales électriques de la planète sont composés d'installations solaires photovoltaïques.***
- ***mais ces installations ne produisent que 0,6% de l'électricité mondiale.***

⁷ Selon une source japonaise : 40 millions de yens. Cité par Bloomberg -14/5/2015

⁸ 134 TWh sur 140 en 2013- Voir International Energy Agency-Energy and Climate Change-Mars 2015

⁹ Pour ces investissements on se reportera aux Rapports annuels de l'ONU-UNEP « Global Trends in renewable energy Investments » réalisés avec la collaboration de Bloomberg et de la Frankfurt School. L'estimation des fonds nécessaires pour fournir un accès à l'électricité à tous se trouve p.34 du Rapport 2013 : 691 milliards de \$.

¹⁰ Pour les chiffres de 2013, on se reportera au Rapport « Energy and Climate Change » de l'Agence Internationale de l'Energie –mars 2015-p.155- Pour l'année 2014, nous avons estimé la puissance installée mondiale photovoltaïque à 178 GW.

En 2015, il est possible que les proportions respectives pour puissance installée et production passent respectivement à 5% et un peu plus de 1%. Ce qui correspond à 0,2% de la consommation totale d'énergie de la planète.

III) La puissance d'une centrale solaire : la confusion.

Lorsque vous achetez un groupe électrogène à pétrole de 1 kW, vous espérez que cet appareil vous délivrera en une heure un kilowattheure. Vous avez raison : la puissance nominale de ce type de générateur est sa puissance normale de fonctionnement. La question se complique lorsque la source d'électricité dépend de l'environnement, c'est-à-dire de la nature. Une installation hydroélectrique de puissance nominale de 100 MW développera cette puissance si les pluies ont été suffisantes. La puissance réelle d'une éolienne variera avec le vent, et celle d'une centrale solaire avec l'ensoleillement.

Les installations solaires sont caractérisées par leur « puissance de crête », notion théorique, différente de sa puissance réelle, qui varie sans cesse.

La « puissance de crête » d'une installation solaire est l'addition des « puissances de crête » des panneaux photovoltaïques qui la composent¹¹. La puissance de crête d'un panneau est la puissance théorique atteinte sous un ensoleillement, une température et une pression donnée. En France, une installation solaire n'atteindra que bien rarement 80% de sa puissance de crête et l'électricité fournie pendant ces courts instants sera négligeable.

La puissance réelle d'une installation solaire dépend, dans la pratique :

- de l'ensoleillement.
- de la température des panneaux. Elle baisse lorsque la température s'élève, de 0,4% par degré Celsius, dans les plages usuelles. Point important, car les panneaux sont au soleil !

La puissance moyenne, donc la production d'une installation solaire, dépendra du climat du lieu d'implantation. La production probable annuelle sera obtenue :

-en calculant la production de l'installation si elle fonctionnait sans arrêt à sa puissance de crête.

-en multipliant cette production théorique par le « facteur de charge solaire » du lieu d'implantation qui exprime l'influence du climat. Ce facteur de charge varie, aujourd'hui, sur notre planète de 0,10 à 0,30 pour la grande majorité des installations.

0,10 correspond à des régions peu ensoleillées, comme l'Allemagne. 0,30 est observé dans certains déserts arides de faible latitude. Il en découle :

1) La puissance de crête d'une installation solaire ne doit jamais être comparée à la puissance nominale d'une centrale à combustibles fossiles ou nucléaire.

En 2014, la puissance de crête installée mondiale solaire était de 178 000 MW suivant l'Association Solar Power Europe, qui ajoute que leur production équivaut à celle d'un parc de centrales à charbon de 33 000 MW, **soit six fois moins.**

2) A coûts de construction égaux, une centrale solaire est bien plus rentable sous des ciex propices. La compétitivité dépend du climat.

La centrale solaire de Laberinto (Chili)¹² est une des seules aujourd'hui à ne pas nécessiter de subventions, donc compétitive. Son implantation est remarquablement ensoleillée et la température y est fraîche grâce à l'altitude. Deux qualités cumulées, du soleil et pas trop de chaleur¹³.

¹¹ Les données de ce § proviennent du site photovoltaïque.info d'Hespul, pionnier du solaire en France et sponsorisé par l'Agence de Maitrise de l'Energie.

¹² Citée p.3

¹³La puissance de crête des panneaux solaires baisse avec leur température.

Les « grandes » centrales solaires sont des installations industrielles, mais leur puissance moyenne est faible.

Ainsi une centrale solaire « géante », comme celle en Inde dont le projet est intitulé peu modestement: « Rewa Ultra Mega Solar » (Etat de Madhya Pradesh)¹⁴ aura une puissance de crête de 750 MW. Une telle puissance, pour une centrale thermique ou nucléaire fait jouer dans la cour des grands. Mais la production escomptée, 1250 GWh/an, ramène à la réalité.

La centrale solaire indienne « Ultra Mega » de 750 MW équivaldra à une centrale à charbon de 180 MW. Une misère !

IV) Un effet de taille écrasant.

Les coûts des panneaux photovoltaïque ont fortement baissé, ayant été divisés par cinquante depuis quarante ans. En conséquence, le prix des installations correspondantes a également chuté. Ces baisses de prix sont plus importantes pour les installations de grande taille. L'Union of Concerned Scientists (UCS), qui œuvre pour la promotion des énergies renouvelables, mentionne qu'il fallait investir 7 000 \$, en moyenne, par kW de crête installé en 2009, quelle que soit la taille de l'installation. En 2013, le coût était tombé à 1 800 \$ le kW installé pour les grandes installations (plage de 2 à 5 MW), mais seulement à 4 500 \$ le kW pour les installations des particuliers¹⁵.

Pour compenser cette disparité, les aides au solaire sont très différentes suivant la taille de l'installation. En France, au second semestre 2015, elles variaient du simple au quadruple suivant la puissance¹⁶. Ce que nous apprennent les chiffres de l'Union of Concerned Scientists est que les différences de coûts entre petites et grandes installations s'amplifient. Les installations importantes achètent leurs panneaux en énorme quantité. Elles emploient des dispositifs sophistiqués pour optimiser leur production d'électricité, procédés peu ou pas accessibles, aux particuliers.

1) Le coût de l'énergie solaire révèle un fort effet de taille qui s'accroît.

Le paysage de l'électricité solaire actuel montre deux types d'installations fort différentes :

- *les installations solaires de petite taille, qui servent en partie à l'autoconsommation, financées par les particuliers, seuls ou en associations.*
- *les centrales solaires de moyenne et de grande taille, dont les promoteurs sont des industriels faisant appel à des financements importants.*

On observe que le passage d'un groupe à l'autre est graduel.

A partir de quelle taille le solaire passe-t-il du domaine de « l'initiative citoyenne » à l'industrie traditionnelle ? Quelle est l'importance de l'effet de taille ?

Ces questions sont fondamentales pour l'avenir du solaire, pour deux raisons :

- ***l'avenir des systèmes électriques.*** Un certain nombre de partisans de la transition énergétique comptent sur les énergies renouvelables, et particulièrement sur le solaire pour aboutir à un modèle électrique décentralisé où chacun produira son courant en échangeant

¹⁴ Mise en service prévue en 2017. On se reportera à la presse indienne. Par ex. The Economic Times-23/8/2015-

¹⁵ On se rapportera aux chiffres fournis par l'UCS—The equation- « And the cheapest electricity in the U.S. is...solar »-13 juillet 2015

¹⁶ Cf. Ministère du Développement durable- panorama Energies-Climat- Les dispositifs d'aides aux énergies renouvelables-p.4.

avec les autres. Ainsi deux anciens ministres appellent à une telle mutation et un économiste souhaite un nouveau mode de gouvernance de l'énergie¹⁷. Si le solaire se dirige vers de grandes installations industrielles, ce modèle dit « d'uberisation » et les idées correspondantes seront mort-nés.

- **la compétitivité de l'électricité solaire.** Si celle-ci existe ou doit apparaître prochainement, **ce sont les grandes installations**, bien plus rentables, **qu'il faut étudier**. La compétitivité des petites installations ne pourra, éventuellement, apparaître que bien après.

2) La frontière entre grandes et petites installations.

Les Etats-Unis se sont lancés un peu tardivement dans l'électricité solaire. Aujourd'hui, le mouvement est bien parti. Les constructions sont assez nombreuses, et le pays suffisamment vaste pour que des études pertinentes soient réalisées. Le Laboratoire National Lawrence de l'Université de Berkeley a mené récemment deux rapports sur l'apparition des centrales solaires industrielles¹⁸.

La première tâche de ces rapports a été de caractériser les installations solaires industrielles, définies comme des centrales de grande taille dont la raison économique est la vente exclusive de leur production aux compagnies d'électricité. Ces centrales s'insèrent dans les réseaux électriques existants et elles jouent un rôle comparable aux centrales classiques.

Le Laboratoire de Berkeley observe que les centrales solaires de plus de 5 MW de puissance de crête sont de ce dernier type. Ses chercheurs ajoutent que ce seuil de 5 MW est discutable et mentionnent que l'administration américaine (Energy Information Administration) préfère 1 MW. Pour notre part, en France, nous prendrons le chiffre de 3 MW, car nos statistiques fournissent des données par rapport à ce nombre.

Le plus vraisemblable est que pour le solaire, le passage à la dimension industrielle est graduel et s'effectue entre 2 et 5 MW de puissance de crête.

Avant 2007, aucune centrale solaire de plus de 5 MW n'existait aux Etats-Unis. « En 2012 [ces centrales] sont devenues la part la plus importante du photovoltaïque... caractéristique qui s'est confirmée en 2013 et 2014, et qui perdurera certainement dans les prochaines années » (Lawrence Laboratory). En 2011, 40% de la puissance installée relevaient de grandes installations (supérieures à 5 MW), en 2014, 60%¹⁹. On notera l'apparition aux Etats-Unis de conflits entre partisans du solaire citoyen (nommé « Rooftop solar »²⁰) et ceux des installations industrielles (« Utility-scale solar »²¹), ce qui montre que les matières traitées ici, sont loin d'être théoriques. Ainsi, au Nevada, le différent entre Warren Buffett, le milliardaire, partisan des grandes centrales solaires, et des associations de citoyens, défendant les petites installations est devenu aigu²².

En France, la file d'attente de raccordement au réseau de distribution à fin juin 2015, indiquait que les installations solaires de plus de 3 MW correspondaient aux 2/3 de la puissance totale proposée (1000 MW sur 1500 MW). Certes, l'écrasante majorité des demandes de raccordement (autour de 80%) relève à priori de particuliers (puissance installée égale ou inférieure à 9 kW de crête) mais leur contribution totale est négligeable : de l'ordre de 5% de l'ensemble²³.

L'électricité solaire est aujourd'hui de plus en plus affaire d'industriels. Les grandes centrales solaires sont devenues un phénomène dominant. Elles s'insèrent dans les grands réseaux électriques existants, comme les autres centrales. En France, la

¹⁷ Voir Le Monde du 17/9/2015- « Produisons nous-mêmes notre énergie » par Pascal Canfin et Corinne Lepage et « Une nouvelle gouvernance pour l'énergie », Les Echos du 23/9/2015 par J.M. Chevalier.

¹⁸ Utility-Scale Solar 2013 et 2014- An empirical analysis of project cost, performance, and pricing trends in the United States.

¹⁹ Fig. 1 du Rapport 2014 du Lawrence Laboratory.

²⁰ En français, « solaire des toits », c'est-à-dire celui des particuliers.

²¹ En français, « solaire pour les compagnies d'électricité » : les installations industrielles.

²² Cf. la pétition de « Climate Truth » : « Signifier à Warren Buffett qu'il doit cesser sa guerre au solaire des toits »

²³ Cf. ERDF – Panorama des installations – Photovoltaïque - File d'attente au 30 juin 2015

contribution des petites installations individuelles - inférieure ou égale à 9 kW - devient négligeable. L'uberisation de la fourniture d'électricité via le solaire s'éloigne à grand pas.

Il ne pourrait resurgir que dans l'éventualité où chaque consommateur pourrait se passer du réseau électrique, ce qui implique non seulement une autosuffisance locale, mais également que les réseaux locaux et de petite taille garantissent suffisamment la fréquence et l'absence de coupures. Cela implique que le stockage de l'électricité soit résolu techniquement et économiquement.

Les progrès de la compétitivité du solaire doivent s'étudier d'abord dans le cas des installations industrielles, de puissances supérieures à 2-5 MW de crête, ce que nous allons faire.

V) Chute des coûts directs mais nécessité de subvention.

Nous allons commencer par utiliser les études déjà citées du Laboratoire Lawrence de l'Université de Berkeley. Certes, cela concerne les Etats-Unis. Nous ne possédons pas en Europe des études aussi fouillées. Mais nous constaterons ensuite qu'il est hautement probable que les conclusions tirées sont, schématiquement les mêmes.

1) Les coûts

Pour le solaire photovoltaïque, les coûts principaux proviennent de la construction des centrales. Il n'y a pas de combustibles à acheter et les dépenses liées à la maintenance et à la gestion des installations sont faibles. En effet, les composants sont particulièrement simples et il n'y a pas de pièces mobiles.

Nous allons étudier les variations des coûts d'investissements des installations solaires industrielles, en précisant qu'il s'agit des coûts totaux et non des panneaux photovoltaïques seulement.

Le Rapport 2014 du Lawrence Laboratory de l'Université de Berkeley est particulièrement précieux. Il est très récent (septembre 2015) et fournit les coûts du kW de crête observé pour les installations solaires industrielles de plus de 5 MW terminées ou en projet en 2014:

En 2010, la moyenne est de 4300 \$ le kW installé, avec une dispersion très forte mais une concentration des coûts entre 3800 et 4800 \$ le kW.

En 2014, la moyenne est de 2400 \$ le kW, avec toujours une grande dispersion, mais une concentration entre 1800 et 3000 \$ le kW.

(On note que l'Union of Concerned Scientists, composée de militants verts a retenu le coût le plus bas pour 2014 et le plus haut pour 2009, donc la baisse la plus spectaculaire ! Cf. p.6)

Le coût des installations solaires photovoltaïques a baissé aux Etats-Unis de 45% de 2010 à 2014. En quatre ans (de 4300 à 2400 \$ le kW de crête), presque une division par deux.

De 2013 à 2014, le coût a baissé de 15% (de 2800 à 2400 \$ le kW).

Il faut considérer ces chiffres comme approximatifs. Pour s'en convaincre, il suffira de se reporter aux données brutes fig. 6 de l'étude citée et de considérer les nuages de points correspondants. Au-delà de toute querelle de chiffres, on constate :

Les coûts de financements des installations solaires photovoltaïques d'une puissance de crête donnée baissent d'une façon continue de 2010 à 2014, dernière année étudiée.

On retrouve ces baisses dans les prix mentionnés pour les contrats de vente de l'électricité produite (Power Purchase Agreement) consentis par les compagnies. La figure 15 et 16 du Rapport 2014 du Laboratoire Lawrence indique une forte baisse de ces prix. Ces baisses sont plus rapides que les coûts d'installations ce qui s'explique par le déplacement vers de sites plus ensoleillés.²⁴

Les prix des contrats sont passés de 150 \$ le MWh vers 2009-2010 à 50-55 \$ en 2014 pour des centrales solaires en fonctionnement. Ils ont encore baissé pour les projets, déposés en 2015, passant au-dessous de 50 \$ le MWh.

Les coûts de l'électricité solaire photovoltaïque ont considérablement chuté. Cela explique que ça et là sa compétitivité soit annoncée. Mais une phrase du Rapport du laboratoire de Berkeley (p.31) sème un doute :

« Les prix [des contrats] présentés ici ne peuvent être mis en parallèle avec ceux des projets non subventionnés ». Aïe !

Le prix proclamé par le milliardaire Warren Buffett dans le Nevada serait-il *après aides* ?²⁵

2) L'autre face du solaire : les subventions.

La « Taxpayers Protection Alliance », comme son nom l'indique est une puissante association de contribuables Outre-Atlantique. Elle ne décolère pas contre les aides publiques au solaire, en particulier un crédit d'impôt nommé Solar Investment Credit Tax. Elle comptabilise 38 milliards de \$ d'aides déjà obtenues de cette façon. Certes cette Association prêche pour ses paroissiens. Mais d'autres sources existent :

- la comptabilité fédérale qui indique que les subventions totales directes au solaire sont passées de 1,09 milliards de \$ en 2010 à 5,328 milliards en 2013²⁶.
- l'agence financière Bloomberg a une attitude ouverte vis-à-vis des énergies renouvelables. Aussi l'Association des Industries Solaires Américaines (SEIA) s'appuie-elle sur certaines de ses études pour défendre le solaire. En particulier, celle où Bloomberg prévoit qu'en 2016, la forte baisse prévue du crédit d'impôt (qui est la plus importante aide publique aux Etats-Unis), fera chuter les investissements dans le solaire de 70%²⁷.

La forte baisse prévue en 2016 des aides publiques au solaire feraient passer les puissances installées annuelles de 11,5 GW à 3,5 GW !

L'Association de l'industrie solaire américaine proclame que la politique d'aide publique au solaire est d'une « importance critique » et en appelle à l'appui des citoyens²⁸.

Comment pourrait-elle mieux prouver que les subventions publiques à l'industrie solaire américaine sont nécessaires donc qu'elle n'est pas compétitive ?

L'Europe

²⁴ Le phénomène est identique en France où la majorité des installations sont dans 3 régions du sud.

²⁵ 38,7 \$ le MWh –Cf. PV Magazine-8/7/2015

²⁶ "Direct federal financial intervention and subsidies in energy in fiscal year 2013-US" Energy Information Administration-12/3/2015

²⁷ Voir le communiqué de la Solar Energy Industries Association reprenant l'étude de Bloomberg -15/9/2015

²⁸ Cf. l'appel de l'Association: « This critically important policy expires in 2016. Join our fight to save it. »

Malheureusement, nous ne possédons pas d'études aussi fouillées que celles de l'Université de Berkeley pour l'Union européenne. En France, nous disposons des travaux de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE), qui naturellement dispose d'un champ d'observation plus réduit qu'aux Etats-Unis. Cependant les signes de similitudes avec l'Outre-Atlantique sont nombreux.

Les coûts du solaire sont en chute également.

Les coûts pour la puissance installée (kW de crête) sont passés de 3 500 à 4 000 euros (2010-2012) à 1600 en 2014-2016²⁹. Evolution parallèle à celle des Etats-Unis. La CRE mentionne l'effet de taille : ces chiffres sont pour des installations de plus de 100 kW.

En Allemagne, le 25 avril 2015, un appel d'offres a généré 25 projets acceptés avec un prix d'achat moyen de 91,7 euros le MWh. Compte tenu de l'ensoleillement Outre-Rhin, le résultat est remarquable. En France, l'appel d'offres de juin 2015 a montré des prix d'achats moyens de 99,26 euros le MWh pour des projets de plus de 250 kW. En 2012, un premier appel d'offres similaire avait conduit à des prix moyens de 213,4 euros le MWh³⁰.

Ces prix sont plus élevés que ceux mentionnés aux Etats-Unis, mais sont cohérents avec eux. L'explication est un ensoleillement bien meilleur Outre-Atlantique. La moitié des projets américains se trouvent dans les déserts californiens où le facteur de charge solaire peut être double de celui observé en France.

Comme aux Etats-Unis, le solaire photovoltaïque a fait en France des progrès spectaculaires, entraînant une chute des prix de l'électricité produite. On constate aussi un déplacement vers le sud, ce qui contribue également à cette baisse par un meilleur ensoleillement.

Des subventions estimées indispensables par la profession.

Cette source d'énergie est-elle devenue compétitive en France ? On observe que les professionnels du solaire, groupés dans le syndicat Enerplan, considèrent les lois de finances successives comme fondamentales pour leur activité. Aujourd'hui (fin 2016) leur intérêt, le mot est faible, pour la prochaine loi de finances (2016) est intact. Alors que toutes les dispositions législatives, c'est à dire les aides publiques, ne sont pas encore connues, le suspense leur paraît insoutenable :

Leur président, Daniel Bour déclare le 9 octobre 2015 : « On démarre le 1^{er} janvier et on ne sait rien du dispositif [d'aides] » et d'ajouter que la situation est « insupportable et anormale »³¹. Actu Environnement qui l'interviewe titre : « Le secteur bascule dans l'inconnu au 1^{er} janvier » Enerplan recherche l'appui de députés (Actu Environnement).

Professionnels du solaire américains et français ont des attitudes similaires : appels dramatisés à l'aide publique, recherche de soutien dans la population ou dans les milieux politiques. Certes, le Président du secteur industriel français, Daniel Bour, a raison d'indiquer que le besoin de subventions a baissé, mais selon ses déclarations, il persiste de façon pressante. Les Français paieront 2,5 milliards d'aides au solaire en 2015, et plus de dix milliards de 2015 à 2018³² inclus, soit plus que le coût de l'EPR de Flamanville, considéré, à juste titre comme exorbitant.

Comment les professionnels français du solaire, à l'instar de leurs collègues américains, pourraient-ils mieux montrer que les aides publiques leur sont indispensables, c'est-à-dire que leur activité n'est pas compétitive ?

Leurs demandes insistantes de subventions, et leur dramatisation montrent que l'accession à la compétitivité pose toujours de sérieux problèmes. D'autant plus que nous n'avons pas évoqué certains coûts directs et indirects.

²⁹ CRE - Coûts et rentabilité des énergies renouvelables - Avril 2014

³⁰ On se rapportera à photovoltaïque-info. Procédures d'appels –prix d'achats moyens des dossiers retenus. Egalement DGEC.

³¹ Cf. Actu-Environnement du 9/10/2015 - « Solaire : Enerplan présente ses doléances à deux parlementaires influents ».

³² Voir la Commission de Régulation de l'Energie. Afin de soulager le consommateur d'électricité, le Gouvernement envisage de faire payer les renouvelables par tout consommateur d'énergie.

V) Solaire : une boulimie de terrain.

Ci-dessous, le terrain nécessaire à une installation est la surface totale que le promoteur a jugé nécessaire et non celle prises par les panneaux solaires ou les réacteurs nucléaires seuls.

La filiale d'EDF au Royaume-Uni a un projet de construction de deux réacteurs nucléaires EPR de 1 750 MW. Pour cela, le terrain utilisé est de 175 ha, soit 1,75 km². La centrale solaire de Cestas (près de Bordeaux), mise en service en octobre 2015 a une puissance de crête de 300 MW et occupe 260 ha, soit 2,6 km². Cestas n'atteindra presque jamais sa puissance de crête de 300 MW, qui est purement théorique. Cestas équivaut, en fourniture de courant à une centrale thermique ou nucléaire de 50 MW. En conséquence, nous pouvons comparer les besoins en surface :

- du nucléaire : pour une puissance nominale, donc moyenne, de deux réacteurs de 1 750 MW, soit 3 500 MW, l'espace nécessaire est de 175 ha ou 1,75 km².
- du solaire : une puissance moyenne de 50 MW demande un espace nécessaire est de 260 ha ou 2,6 km². Le calcul montre :

Pour la même fourniture d'électricité, le solaire demande, en Europe, cent fois plus de terrain que le nucléaire.

Nous possédons une étude américaine sur l'occupation de terrain par les centrales solaires³³. Pour les installations photovoltaïques de même puissance de crête théorique, nous constatons une occupation de terrain trois à quatre fois plus importantes aux Etats-Unis qu'à Cestas (Gironde). Mais, comme l'ensoleillement est plus important dans les déserts américains (où se trouvent beaucoup d'installations), la production d'électricité par hectare occupé n'est pas très éloignée de celle de la centrale de Cestas.

Dans les pays où le terrain est plutôt rare et les déserts ensoleillés absents, comme la France et le Japon, on se serre et on se contente d'un hectare (ordre de grandeur) pour installer un MW solaire de crête. Dans les régions où le terrain ensoleillé est abondant (déserts américains, indiens, pakistanais ou chinois), on s'étale jusqu'à occuper deux fois, trois fois plus de surface, voire au-delà.

Pour la même fourniture d'électricité, le solaire demande, en général, cent fois plus de terrain que le nucléaire. L'écart est encore plus grand avec les centrales à combustible fossile, moins exigeantes en espace.

Dans les déserts de notre planète, cette boulimie de terrain ne gêne que les défenseurs de l'environnement soucieux de biodiversité. En Europe et au Japon, entre autres, le problème est plus aigu. Les centrales solaires s'installent souvent dans des ex-domaines militaires (Toul, Thouars), ou industriels désaffectés (Pujaut, terrain RTE), ou dévastés par une tempête (Cestas). Bref, lorsqu'une occasion à prix négligeable se présente. Ces opportunités ont des limites et sont souvent contestés par d'autres éventuels utilisateurs, comme les agriculteurs.

L'industrie solaire française n'évitera pas la question foncière. Quid des autres utilisations : l'agriculture, les logements, les équipements de tout genre, ou plus simplement les espaces naturels. Neutraliser plusieurs kilomètres carrés pour construire une centrale électrique d'importance secondaire mérite réflexion.

La valeur réelle du terrain doit être intégrée dans le coût des installations solaires. Le quasi-don a des limites.

VI) Intermittence et stockage de l'électricité. Un coût indirect supplémentaire important.

³³ US Department of Energy-National Renewable Energy Laboratory – Land-use requirements for solar power plants-june 2013.

Aujourd'hui l'électricité ne se stocke pas et la consommation doit être, à tout instant, égale à la production. Or la production d'électricité solaire et éolienne varie sans cesse, au gré de la météo.

- Tant que la proportion de cette électricité intermittente est faible, pas de problème. Le système électrique est composé de multiples centrales, y compris hydrauliques, dont la production est aisément pilotée. Les variations des électricités solaire et éolienne sont alors compensées.
- Au-delà de 5 à 10% de ces énergies, il est nécessaire de compliquer quelque peu le réseau électrique et de passer à des « réseaux intelligents » ou smartgrids), de mieux gérer les consommations par des compteurs également « intelligents », ou même de disposer de centrales classiques de secours, en cas de défaillance brutale et simultanée des vents et du soleil. Tout cela a un prix qui a été estimé à 30% du coût de production.³⁴ Le syndicat des professionnels du solaire Enerplan insiste sur la construction de ces dispositifs qu'il considère comme indispensables. *Il s'agit donc bien d'un coût indirect du solaire.*³⁵

Pour des proportions moyennes (de 10% à 30%) d'électricité intermittente, il faut prévoir des dispositifs qui augmentent le coût des renouvelables de 30% (ordre de grandeur). Ce financement, indirect, doit être pris en compte pour juger de la compétitivité du solaire.

- Au-delà de 30 à 40% d'électricité intermittente, la Société Européenne de Physique, s'appuyant sur des études franco-allemandes, avertit que les solutions précédentes deviennent très chères.³⁶

La solution idéale à l'intermittence des électricités solaire et éolienne serait le stockage de l'électricité.

Le stockage de l'électricité est un problème technique étudié depuis plus d'un siècle. Il n'est pas question ici d'en faire l'historique et d'énoncer les différentes voies de recherche. Nous allons nous limiter aux batteries électriques. Elles furent et encore sont l'objet de recherches militaires intenses pour les sous-marins classiques. Deux objectifs sont visés : une grande capacité (afin que le sous-marin reste en plongée), une sécurité garantie (pas d'incendie, ni de dégagements de produits toxiques).

Parmi les sous-marins classiques ultramodernes, citons ceux du type Dolphin, fabriqués en Allemagne, devenus une composantes majeures de la défense israélienne³⁷. ***On constate que le choix technique des batteries est très classique, des batteries au plomb.***

Ce n'est pas la solution choisie par Tesla, qui veut révolutionner le monde de l'électricité par des batteries lithium-ion. Il s'agit de fournir aux familles et à l'industrie des batteries pratiques et sûres qui stockeront l'électricité solaire et éolienne. Ainsi, réseaux électriques et compagnies d'électricité perdraient de leur intérêt.

L'obstacle majeur est le prix : le modèle proposé par Tesla doit être **compétitif**, c'est-à-dire que **sans subventions**, il doit « être capable de supporter la concurrence » des autres modèles électriques. Nous allons examiner un cas simple.

Eurostat considère que la consommation d'un ménage moyen européen est de 2500 kWh/an. Si ce ménage veut être indépendant des grands réseaux électriques, et dépendre uniquement des sources locales (composées dans l'idéal d'énergies renouvelables intermittentes) combien de jours de consommation doit-il pouvoir stocker ? Oublions le principe de précaution et osons une interruption de fourniture d'une semaine à dix jours, en gommant des cas météo extrêmes sans soleil ni vent, qui ne se présentent que tous les cinq à dix ans. Il faut stocker de 40 à 70 kWh. La batterie Tesla de 10 kWh sera proposée à 3 300 euros environ³⁸. L'investissement sera de 13 000 à 23 000 euros.

Cet investissement est à comparer à une facture d'électricité annuelle moyenne pour un ménage en France de 400 euros par an, et de l'ordre de 600 euros en Allemagne³⁹. Vingt à cinquante ans de factures d'électricité (période supérieure à la durée de vie des batteries) pour pouvoir se passer du réseau électrique centralisé actuel qui procure une sécurité de fourniture

³⁴ Déclaration de M. Henri Proglio, Président d'EDF –Commission des Affaires Economiques-Sénat-24/6/2014

³⁵ Daniel Bour, Président d'Enerplan qualifie d'"incontournable" la construction des « smartgrids » -Cf. Tecsol-20/8/2015.

³⁶ European Physical Society-Energy Group Position Paper-30/7/2015

³⁷ Voir NTI - Israël Submarines Capabilities-30/7/2015 - Ces sous-marins peuvent véhiculer des ogives nucléaires.

³⁸ On se rapportera par ex. à Greentechmedia du 1/5/2015. Le prix affiché est de 3500 \$.

³⁹ Les prix sont doubles en Allemagne, mais nos voisins consomment moins. Les prix du kWh sont ceux d'Eurostat.

et une stabilité en fréquence remarquable. Seuls les militants aisés d'une transition énergétique radicale feront ce choix.

Certes, mais les prix des batteries vont baisser...

Revenons à aujourd'hui : la société Tesla a la désagréable habitude de vendre à perte... malgré des subventions. A la suite d'une affirmation de l'Association de Protection des Contribuables américains, le Président de Tesla a admis des subventions publiques, en particulier relatives à la prochaine usine de batteries (la « giga factory » au Nevada), en affirmant : « ces aides ne sont pas nécessaires, mais sont utiles »⁴⁰. Tesla perd de l'argent et augmente ses ventes⁴¹. Situation expliquée par l'enthousiasme pour les voitures électriques et le solaire. Le patron est aussi celui de SolarCity, entreprise solaire emblématique. Les investisseurs se précipitent car si les ventes de voitures électriques et de batteries explosent, ils toucheront le jackpot. Mais ils restent méfiants : le 20 octobre 2015, l'action Tesla a dévissé de 10% à Wall Street en une séance à la suite d'un seul article dans une revue spécialisée mettant en doute la fiabilité de sa voiture électrique Model S⁴².

Nous ne connaissons pas le coût réel de production des batteries Tesla.

En conclusion

Aujourd'hui, le solaire le plus rentable et le plus courant est produit par des installations industrielles photovoltaïques. Le coût de l'électricité produite a considérablement baissé ces dernières années. Sauf dans certains déserts, ces centrales ont besoin de subventions et, en conséquence, ne sont pas compétitives.

La compétitivité future exige de nouveaux efforts considérables, pour abaisser les coûts directs (baisse des prix de construction des installations), et les coûts indirects (stockage, réseaux...).

Cela nécessite de nouveaux gains concernant les panneaux solaires (qui ne correspondent plus qu'à 40-45% du prix d'une centrale) et les autres composants. Parmi les coûts indirects, il est peu probable que ceux des réseaux « intelligents » baissent énormément. Le coût du stockage a l'obligation de baisser considérablement. De toute façon, il doit être ajouté au coût direct de production du solaire. Le prix du terrain, non pris en compte aujourd'hui, s'abaisserait notablement si le concept de « route solaire » de Colas s'avérait valable. Le pari de construire simultanément une route sûre et une centrale solaire à panneaux fixes et horizontaux rentable est osé. Sa réussite ne pourra être vérifiée que d'ici quelques années.

L'accession du solaire à la compétitivité exige le dépassement d'obstacles techniques et économiques importants, dont la réussite éventuelle demandera de nouveaux et considérables investissements, au-delà des 1000 milliards de \$ déjà effectués. Il est difficile de proposer une date de réussite.

En conséquence, nous n'en proposerons pas.

⁴⁰ Cf. Interview d'Elon Musk par CNBC 1/6/2015

⁴¹ « Tesla triple ses pertes malgré des ventes record » Challenge 6/8/2015

⁴² Agefi.com 21/10/2015.

