

INSTITUT  
**CHOISEUL**

# **FAIRE DE LA FRANCE UNE SOLAR NATION**

Pascal LOROT

# LES NOTES STRATÉGIQUES



Adressées aux acteurs économiques, institutionnels et politiques mais aussi à un public averti, les Notes Stratégiques de l'Institut Choiseul ont vocation à analyser et éclairer les principaux débats économiques, sociaux et politiques sous le prisme des ruptures géopolitiques et géoéconomiques à l'œuvre dans le monde contemporain.

**INSTITUT CHOISEUL**





# FAIRE DE LA FRANCE UNE SOLAR NATION



**Pascal LOROT**

*Président, Institut Choiseul*

## **À propos de l'auteur :**

*Pascal Lorot est le président de l'Institut Choiseul.*

*Il fut notamment membre du Collège de la Commission de régulation de l'énergie (CRE), chef économiste du groupe Total, conseiller du ministre de l'Économie et des Finances ou encore conseiller du président de la Banque européenne de reconstruction et de développement (BERD, Londres).*

*Pascal Lorot est docteur en économie et docteur en science politique et, par ailleurs, l'auteur de plus d'une vingtaine d'ouvrages portant sur l'économie, la géopolitique et les questions stratégiques.*

## SYNTHÈSE

Nous faisons collectivement face à une double urgence énergétique : d'une part, l'électrification massive de nos modes de vie ne fera qu'augmenter à l'avenir et nous impose de produire toujours plus d'électricité, avec une augmentation estimée à 35 % par RTE. D'autre part, la prise de conscience de l'urgence climatique dans laquelle nous évoluons s'accompagne d'un impératif clair : le besoin de décarboner le plus possible la production de notre énergie et atteindre une neutralité carbone d'ici 2050, comme nous nous y sommes engagés dans le cadre de l'accord de Paris.

Face à cet état de fait, la France doit trouver la solution d'avenir qui correspond le mieux à son histoire, ses capacités, son paysage énergétique, et surtout aux Français. En effet, un nouveau projet énergétique ne pourra réussir qu'en étant celui du plus grand nombre. Dans les temps mouvementés qui s'annoncent, l'énergie ne peut être un nouveau sujet de discorde entre les Français, mais au contraire faire partie intégrante du projet de société qu'il convient de proposer aux Français pour atteindre les objectifs environnementaux. Ces impératifs ne peuvent être envisagés ni vécus seulement comme des contraintes imposées à nos modes de vie.

Les choix qui seront faits en cette année 2022 engagent la France pour les prochaines décennies. Dans le contexte de l'élection présidentielle et des élections législatives qui la suivent, le champ des possibles s'ouvre et les projets de société doivent être mis sur la table et débattus.

Le constat est désormais largement partagé sur le fait que le paysage énergétique de la France doit se réorganiser autour de deux sources d'énergies : le nucléaire, historique, et les énergies renouvelables, émergentes. L'objectif de cette note est de montrer que, parmi ces dernières, aucune n'a jusqu'ici fait preuve d'autant de qualités et d'atouts que le solaire. Énergie *100% compliant*, le solaire est propre, adaptable aux circonstances, largement accepté par une grande majorité de Français. Il doit à ce titre se placer au cœur de notre nouvelle stratégie énergétique.

Plus spécifiquement, il s'agit de concentrer les efforts sur le photovoltaïque dit « résidentiel », c'est-à-dire celui du plus grand

nombre, du quotidien. C'est au niveau de l'usage individuel, par les particuliers, que se trouve le levier d'un changement d'échelle pour faire de la France une *Solar Nation*. Par *Solar Nation*, nous entendons un pays qui, de manière concertée et ambitieuse, par ses politiques publiques et notamment sa politique industrielle, dans ses usages individuels et collectifs, par toutes les forces vives économiques, sociales et politiques qui le composent, fait le choix assumé de l'énergie solaire et en premier lieu du photovoltaïque résidentiel comme première source d'énergie renouvelable pour effectuer sa transition énergétique.

La filière photovoltaïque résidentielle a gagné en maturité technologiquement et est prête à monter en puissance. Les Français doivent s'en emparer, et semble déjà le plébisciter : selon une étude d'Harris Interactive réalisée pour l'Institut Choiseul, plus de 9 français sur 10 (91 %) déclarent avoir une bonne image de l'énergie solaire.

Mais cela ne se fera pas sans la volonté forte des pouvoirs publics et des mesures réglementaires de soutien à tous les échelons pertinents. La structuration d'une filière d'amont et d'aval garantira la création de valeur ajoutée de bout en bout sur tout le territoire. Le déploiement d'un récit de société cohérent et de mesures incitatives souples devra permettre de convaincre le plus grand nombre.

Nous proposons un projet énergétique ambitieux basé sur le développement massif du solaire résidentiel et articulé autour de 6 mesures clés :

- 1. Repenser la fiscalité** à destination des particuliers et permettre un élargissement du taux réduit de TVA pour débrider les installations solaires et ainsi dépasser le seuil des 3 kWc ;
- 2. Parallèlement, mettre en place en place une politique de subventions publiques ciblées** pour soutenir tant l'installation que l'autoconsommation et la vente d'électricité ;
- 3. Mobiliser tous les échelons politiques, administratifs, géographiques**, des régions jusqu'aux EPCI, en passant par la création d'un Haut-Commissariat à l'énergie solaire, pour accompagner au mieux et à chaque échelon de décision le développement du photovoltaïque ;



**4. Structurer une filière industrielle** de fabrication et de retraitement de panneaux solaires avec un relocalisation française pour créer une véritable dynamique circulaire bénéficiant l'ensemble du territoire ;

**5. Développer la formation dans les métiers du solaire**, vecteurs d'emploi et d'insertion sur tout le territoire, en améliorant la formation professionnelle et en développant des écoles et des parcours dédiés ;

**6. Promouvoir une « Solar Culture »** par de la sensibilisation et des actions participatives et citoyennes pour faire adopter par le plus grand nombre les technologies et pratiques associées au photovoltaïque, et donner une place plus importante au solaire dans le débat public.

C'est à l'aune de ces recommandations que la France peut devenir une *Solar Nation* prête à relever les défis énergétiques de demain.



# INTRODUCTION

## Réinventer l'énergie face aux défis à venir

Le réchauffement accéléré de la planète pose, dès maintenant, un problème de survie aux populations et aux États, aux modèles industriels et économiques, aux modes de mobilité et d'habitat. Les estimations les moins pessimistes font état d'une hausse significative de la température qui, en l'espace de quelques années, peut entraîner des changements climatiques de grande ampleur. Ces modifications structurelles sont à même d'affecter, par leur brutalité (montée des eaux, désertification, destruction des habitats, catastrophes naturelles en augmentation – incendies, pluies diluviennes, tornades, tsunamis, *etc.*), les conditions de vie des populations et même la viabilité de certains États.

Depuis l'Accord de Paris sur le climat adopté en 2015, la politique énergétique française est guidée par l'objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050.

## L'augmentation massive des besoins électriques

Pour atteindre cet objectif, la France doit répondre à un double défi énergétique qui va accroître drastiquement les besoins en électricité :

1. Renoncer aux énergies fossiles qui représentaient 47,3 %, de sa consommation d'énergie primaire en 2019<sup>[1]</sup> et déployer des sources d'énergies de substitution permettant de réduire la dépendance de la France aux énergies émettrices de CO<sub>2</sub> ;
2. Faire face à l'augmentation des besoins en électricité du fait de l'évolution des usages personnels et professionnels qui reposent davantage sur l'électricité : passer à la voiture électrique (qui représentera 94 % du parc en 2050), convertir l'industrie, convertir les logements au chauffage électrique et produire de l'hydrogène entraînent nécessairement une hausse de la consommation de kilowatts/heure.

D'après Réseau de transport d'électricité (RTE) dans son rapport « Futurs énergétiques 2050 », la demande en électricité aura augmenté de 35 %

---

<sup>1</sup> Ministère de la Transition écologique, *Chiffres clés de l'énergie*, 2020, p.22.

d'ici 2050<sup>[2]</sup>. Cette même hausse s'observe dans tous les autres pays européens et de manière parfois plus importante qu'en France (+ 50 % en Allemagne et en Italie, + 100 % au Royaume-Uni).

La transition écologique et énergétique de la France représente alors un défi de taille, d'autant plus qu'elle reste encore dépendante des hydrocarbures qui représentent 44,3 % de la consommation d'énergie totale aujourd'hui. Pour atteindre les objectifs de neutralité carbone, la France doit donc résolument se tourner vers à la fois plus de renouvelable et plus de nucléaire.

Le président de la République, par son discours de Belfort le 14 février 2022, a donné l'orientation énergétique des prochaines années. Pour faire face à l'urgence climatique, la France va doubler sa production en énergie renouvelable d'ici 2030 et « *l'augmenter encore davantage d'ici 2050* » partant du constat qu'il s'agit du seul moyen de répondre à nos besoins immédiats en électricité alors qu'il faut quinze ans pour construire un réacteur nucléaire. Parmi ces énergies renouvelables, le solaire devrait tenir une place importante « *parce qu'il est moins cher et s'intègre plus facilement dans le paysage* ».

## **Miser résolument sur le solaire dans la vie quotidienne**

Jusqu'à présent, l'énergie solaire n'a pas rencontré, dans le débat français, l'attention qu'elle mérite. Vendue comme une évidence dans les années 1970, l'énergie solaire a été marginalisée par le développement du tout nucléaire d'abord et du tout éolienne ensuite. Aujourd'hui, plusieurs signaux forts doivent pousser l'ensemble des acteurs concernés à changer d'échelle et réinventer le paysage énergétique par la voie solaire.

Inépuisable, l'énergie solaire représente une opportunité pour les pouvoirs publics français. Le gisement solaire présente une faible volatilité et une irradiation globale suffisante pour garantir la production d'électricité.

Les nombreuses initiatives étrangères qui donnent une place prépondérante au solaire dans les mix énergétiques nationaux sont la preuve que cette énergie représente une réelle opportunité.

---

<sup>2</sup> RTE, *Futurs énergétiques 2050*, 2021, p.22. (En ligne :<https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>).

Aux États-Unis notamment, le plan d'investissements du président Biden s'est fixé pour cible très ambitieuse de faire de l'énergie solaire la source de 40 % de l'énergie américaine en 2035 et 45 % en 2050. La Secrétaire américaine à l'énergie, Jennifer M. Granholm, précise que la dernière étude en date du Department of Energy (DOE) « met en évidence le fait que le solaire, notre source d'énergie propre la plus économique et rapide, pourrait produire suffisamment d'énergie pour faire fonctionner toutes les maisons des États-Unis à l'horizon 2035 et employer au moins 1,5 million de personnes<sup>[3]</sup> ».

Du côté français, les options durables et efficaces que propose le solaire sont de plus en plus prises en compte. Les solutions de stockage montent en gamme et la répartition par *smart grid* promet un pilotage fin entre l'offre et la demande. Économiquement, le solaire, solution *low-cost* mais *high-quality*, a fait ses preuves et les modèles économiques sont maîtrisés là aussi le long de la chaîne<sup>[4]</sup>. L'empreinte environnementale des technologies photovoltaïques s'est grandement améliorée par le développement de la R&D ainsi que la gestion de fin de vie des panneaux, qui sont désormais mieux recyclables et revalorisables.

L'empreinte environnementale du solaire est alors bien moindre que celle de l'autre solution reine du mix énergétique français, le nucléaire. Le seul coût du démantèlement des centrales nucléaires<sup>[5]</sup> est sans commune mesure avec le coût du recyclage des panneaux solaires. De plus, la problématique des déchets et de la localisation des sites ne se pose pas pour la technologie diffuse et discrète du solaire, dont l'impact esthétique est considérablement réduit.

3 Department of Energy, "DOE releases solar futures study providing blueprint zero carbon grid", 2021. (En ligne : <https://www.energy.gov/articles/doe-releases-solar-futures-study-providing-blueprint-zero-carbon-grid>).

4 Comme le rappelle le ministère de la Transition écologique : « La filière solaire photovoltaïque s'est fortement développée en France à partir de 2009. En 2020, la production s'élève à 13,6 TWh (dont 0,5 TWh dans les DROM), en hausse de 11,1 % par rapport à 2019. La filière a bénéficié au cours des dernières années d'une baisse sensible du prix des modules photovoltaïques. L'autoconsommation photovoltaïque est par ailleurs en plein essor ces dernières années. En 2019, elle s'est élevée à 116 GWh. » (Chiffres clés des énergies renouvelables, 2021. En ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-clés-energies-renouvelables-2021/12-solaire-photovoltaïque>).

5 Le coût exact est inconnu ; pour Fessenheim, il était estimé par EDF entre 350 et 500 millions d'euros (« Fessenheim : Combien coutera le démantèlement de la centrale ? », *Journal du Dimanche*, 21 février 2020). D'après certains rapports de la Cour des Comptes (« Les coûts de la filière électro nucléaire », *Cour des Comptes*, 31 janvier 2012) et de l'Assemblée (« Rapport d'information de la mission relative à la faisabilité technique et financière du démantèlement des installations nucléaires de base », *Assemblée nationale*, 1er février 2017. En ligne : [https://www2.assemblee-nationale.fr/documents/notice/14/rap-info/i4428/\(index\)/depots#P430\\_77627](https://www2.assemblee-nationale.fr/documents/notice/14/rap-info/i4428/(index)/depots#P430_77627)), il semblerait que ces coûts sont très sous-évalués par EDF et pourraient, pour une centrale de type Fessenheim, se rapprocher du milliard d'euros.

Enfin, le solaire bénéficie d'une très large acceptabilité au sein de la population française, aussi bien auprès des particuliers et des collectivités que des entreprises. Selon une étude d'Harris Interactive réalisée pour l'Institut Choiseul<sup>[6]</sup>, plus de 9 français sur 10 (91 %) déclarent avoir une bonne image de l'énergie solaire, qui est l'énergie la plus plébiscitée parmi les énergies renouvelables (EnR). Cet ample consensus autour du solaire – inversement proportionnel à la place que cette énergie tient dans le débat public – est le levier majeur d'un changement d'échelle auquel nous appelons ici.

## Le choix du solaire résidentiel

Les usages de l'énergie photovoltaïques sont multiples. On distingue trois filières, chacune adaptée à un public spécifique. Le **solaire industriel** est, lui, exclusivement destiné au bâti industriel et à un public relativement restreint. De la même manière, le **solaire tertiaire** répond aux besoins d'entreprises souhaitant repenser leur approvisionnement énergétique et utiliser leur foncier ou toiture disponible.

S'il représente seulement 8 %<sup>[7]</sup> de la nouvelle puissance installée, le **segment résidentiel** représente une opportunité en termes de déploiement. En effet, le potentiel inexploité des toitures s'élève à 364 GW selon l'ADEME<sup>[8]</sup>, qui estime que les marges de progression sont considérables. La hausse des prix de l'électricité, ponctuelle ou durable, ne peut que favoriser le déploiement de l'autoconsommation. En ce sens, le solaire résidentiel est une énergie renouvelable qui permet de responsabiliser les particuliers face à leur consommation énergétique et aux pouvoirs publics de répondre aux problématiques énergétiques. De plus, elle crée une véritable mobilisation des citoyens, qui deviennent acteurs de cette transition énergétique et pas seulement consommateur d'une source d'énergie plus viable.

---

6 Sondage Harris Interactive pour l'Institut Choiseul, « Les Français et l'énergie solaire », enquête réalisée en ligne du 14 au 17 janvier 2022 sur un échantillon de 1002 personnes représentatif des Français âgés de 18 ans et plus.

7 Ministère de la Transition écologique, Tableau de bord : solaire photovoltaïque - Premier trimestre 2021, 2021. (En ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publicationweb/366>).

8 ADEME, Un mix électrique 100% renouvelable, 2016. (En ligne : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/mix100-enre-synthese-technique-macro-economique-8892.pdf>).

C'est donc sur cette filière du solaire résidentiel que la présente note se concentre particulièrement, afin de montrer tout le potentiel qu'il convient d'exploiter au service de la transition énergétique de notre pays et de notre continent.

Il s'agit par cette note de proposer une politique ambitieuse pour la filière solaire dans un agenda mondial marqué par l'urgence et de montrer en quoi la France a tout à gagner à se positionner comme une *Solar Nation*. Par *Solar Nation*, nous entendons un pays qui, de manière concertée et ambitieuse, par ses politiques publiques et notamment sa politique industrielle, dans ses usages individuels et collectifs, par toutes les forces vives économiques, sociales et politiques qui le composent, fait le choix assumé de l'énergie solaire et en premier lieu du photovoltaïque résidentiel comme première source d'énergie renouvelable pour effectuer sa transition énergétique.

Cette note étudiera dans un premier temps le marché des énergies renouvelables en France et sa complémentarité avec le nucléaire (Chapitre 1) avant d'analyser la situation et les atouts de la filière solaire au regard des autres énergies renouvelables (Chapitre 2) pour enfin proposer les contours d'un grand plan français pour le solaire de demain, et faire de la France une *Solar Nation* en s'appuyant particulièrement sur l'énergie solaire résidentielle (Chapitre 3).





## CHAPITRE 1

# **RÉINVENTER LE PAYSAGE ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS AUTOUR DU NUCLÉAIRE ET DU SOLAIRE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS EN ÉLECTRICITÉ DU XXI<sup>ÈME</sup> SIÈCLE**

**01**

Les énergies renouvelables s'inscrivent en France dans un environnement particulier. Si chaque pays a le sien (comme la colossale domination pétrole-gaz aux États-Unis ou le charbon en Allemagne et en Chine), le nôtre se caractérise par la prédominance du secteur nucléaire et les bas coûts de l'électricité. De plus, l'option « tout nucléaire » qui prévaut depuis cinquante ans a empêché ou freiné les investissements vers les autres formes d'énergies renouvelables, créant un déséquilibre fort dans la répartition de l'offre.

## **I. Le secteur de l'énergie en France est dominé par la puissance publique et son soutien ancien à un nucléaire décarbonné**

### **Le poids de l'État dans un marché régulé**

L'énergie est toujours considérée en France comme un domaine régalien. À ce titre, l'État a joué et joue encore un rôle prépondérant dans la production, la distribution et la régulation de l'énergie. La présence *in situ* de très forts opérateurs mondiaux (comme TotalEnergies), ne contrebalance pas le poids de l'État et de ses leviers.

Cet état de fait a des raisons historiques. Après la Seconde Guerre mondiale, le gouvernement français a nationalisé tous les opérateurs privés de distribution d'électricité et de gaz.

Aujourd'hui, si les règles européennes ont contraint l'État à ouvrir le capital de ses entreprises et rendu la concurrence obligatoire, il n'en demeure pas moins que ce dernier est toujours présent au sein des entreprises historiques. EDF (dont l'État possède 80 % du capital) est toujours l'opérateur principal du marché de l'électricité à hauteur de 87 % ; Engie (né de la fusion de Gaz de France et de Suez, dont l'État possède 25 %) celui du gaz, RTE (Réseaux de transport d'électricité, filiale d'EDF) et Enedis ceux de la circulation et de la distribution de l'électricité.

Parallèlement, l'État contrôle toujours les tarifs de l'énergie, les prix étant fixés par la Commission de régulation de l'énergie (CRE) dans le cadre d'un programme pluriannuel de l'énergie (PPE) mis en place tous les cinq ans.

## Des prix historiquement bas qui freinent les investissements lourds

Au premier semestre 2021, selon Eurostat<sup>9</sup>, le prix de l'électricité française était en moyenne moins élevé que celui de la plupart de ses voisins européens, avec 0,1933 € TTC le kilowattheure, contre 0,2192 €/kWh pour l'Union européenne. Sur les 28 États membres de l'Union, la France se place seulement à la 11<sup>ème</sup> place des pays les plus chers, derrière l'Allemagne (1<sup>ère</sup> place avec 0,3193 €/kWh), l'Espagne (5<sup>ème</sup> place, 0,2323 €/kWh) ou l'Italie (6<sup>ème</sup> place, 0,2259 €/kWh). La France a donc un faible prix de l'électricité, qui reste cependant à relativiser en raison du poids des taxes, comptant pour environ un tiers du prix du kWh en France.

Cette situation particulière, si elle est avantageuse pour le consommateur, peut également représenter un frein à des engagements lourds de la part de producteurs privés, car le retour sur investissement peut être plus long et plus difficile que dans d'autres pays.

## Un opérateur dominant marqué par la prééminence du nucléaire

En dépit des transformations structurelles engagées depuis vingt ans, la France reste marquée par la prééminence de l'opérateur historique principal, EDF – et dans une certaine mesure par Engie pour le gaz. Mais la caractéristique principale de ce modèle appuyé fortement par l'État est la prééminence de l'énergie nucléaire qui distingue la France de tous ses partenaires, États membres de l'UE, et qui en fait un des pays avec la production d'énergie la moins carbonée.

Selon Selectra, « *Dans l'Union européenne, la France se distingue fortement de ses voisins par l'originalité de son bouquet énergétique. La production d'électricité dans l'Hexagone est en effet dominée par l'énergie nucléaire – qui représente près des trois quarts de la production totale. Cette prépondérance de l'énergie nucléaire est le fruit de choix stratégiques passés (développement de l'hydroélectricité puis du nucléaire). Ceux-ci ont permis à la France de disposer d'une électricité*

<sup>9</sup> Eurostat, *Electricity Price Statistics*, octobre 2021. (En ligne : [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics)).

*compétitive, peu carbonée et ont participé à renforcer l'indépendance énergétique du pays. En tout, ce sont 19 centrales nucléaires et 58 réacteurs qui sont aujourd'hui installés dans l'Hexagone<sup>[10]</sup> ».*

## L'apparition tardive de nouveaux modes énergétiques

La domination du nucléaire a rendu difficile l'émergence de filières énergétiques alternatives.

La France a en effet accumulé un certain retard dans le déploiement des énergies renouvelables, qui ne se sont imposées que très récemment, en raison des contraintes climatiques et politiques récentes. Le premier programme éolien français date par exemple de 1997, alors qu'en 1918, 3 % de l'énergie produite au Danemark provenait déjà de l'éolien<sup>[11]</sup>.

Preuve de cette difficile émergence, en 1980, la part du renouvelable était en France de 27,3 % dans le mix énergétique (contre 23,8 % pour le nucléaire et 48,9 % pour le thermique), composée essentiellement des centrales hydrauliques. En 2010, elle n'était plus que de 13,8 % (contre 75,9 % pour le nucléaire et 10,3 % pour le thermique<sup>[12]</sup>) pour un quasi doublement du nombre de TWh<sup>[13]</sup>.

Aujourd'hui, la production d'énergie primaire reste largement dominée par le nucléaire (75 %), loin devant les énergies renouvelables (24 %) et les énergies fossiles (1 %).

---

<sup>10</sup> Selectra, *Comparaison du prix de l'électricité en France et en Europe*, 2019. (En ligne : <https://selectra.info/energie/electricite/prix/europe>).

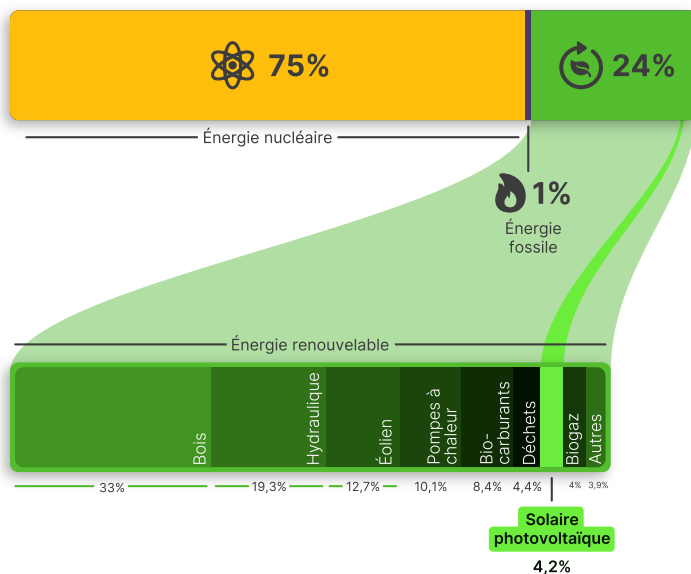
<sup>11</sup> Journal éolien, « Chronologie de l'éolien en France ». (En ligne : <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/chronologie-de-l-eolien-en-france/>).

<sup>12</sup> Ministère en charge de la transition écologique, *L'évolution du mix électrique dans le monde entre 1980 et 2010, Tableau 1 - Part des différentes filières dans le mix électrique en 1980 et 2010*. (En ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/chiffres-stats406-mix-electrique-dans-le-monde-entre1980et2010-avril%202013.pdf>).

<sup>13</sup> Térawatt/heure, soit un milliard de kilowatt/heure (1 kWh correspond à la consommation d'un appareil électrique de 1000 Watts pendant une heure).

## Production d'énergie primaire en France

Données : Ministère de la Transition écologique, 2020



### L'ouverture récente à la concurrence

À la fin des années 1990, les États membres de l'Union européenne ont décidé la mise en place d'un « Marché intérieur de l'énergie ». Il s'agissait de briser le fonctionnement autarcique des marchés nationaux pour aller vers une intégration globale plus performante et, hypothétiquement, plus économique pour le citoyen. Les directives 2009/72/CE et 2009/73/CE du 13 juillet 2009 ont organisé les règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et du gaz naturel. Elles prévoient :

- pour les consommateurs, le libre choix du fournisseur ;
- pour les producteurs, la liberté d'établissement ;
- pour les réseaux de transport et de distribution d'énergie (c'est-à-dire les lignes électriques et les réseaux de gaz), le droit d'accès dans des conditions objectives, transparentes et non discriminatoires pour tous les utilisateurs des réseaux.

En dépit de ces ouvertures, le poids de l'État sur le métier de l'énergie en France demeure prépondérant.

## Des besoins croissants en électricité : se chauffer, se déplacer, se connecter

Dans son discours de Belfort du 12 février 2022 pour la relance de la filière nucléaire, le président de la République, déclare : « *Parce que nous allons vers une électrification de toutes nos pratiques : nos manières de produire, de nous transporter, nous aurons besoin de produire beaucoup plus d'électricité* ». En effet, nos modes de vie évoluent et sont de plus en plus consommateurs d'électricité, entraînant ainsi une hausse de la consommation d'électricité de 35 % d'ici 2050 selon RTE<sup>[14]</sup>.

Pour se chauffer, tout d'abord. L'électricité représente en effet une alternative efficace au chauffage au bois, fioul ou gaz, et par conséquent une part de la consommation électrique en constante évolution. Sur les 1562 TWh d'électricité consommés en France en 2020, près de 800 TWh l'étaient par le secteur résidentiel et tertiaire<sup>[15]</sup> soit 51 % de la consommation d'énergie nationale. Le résidentiel représente donc le secteur économique le plus consommateur d'énergie en France.

Pour se mouvoir, ensuite. Les mobilités se diversifient et les besoins en électricité vont de pair avec cette évolution. Avec l'apparition des « nouvelles mobilités », la consommation devient plus importante, en raison de la multiplication de véhicules électriques et de leurs bornes de recharge, mais aussi des vélos, trottinettes, gyroroues, *etc.*, qui demandent tous d'être rechargés régulièrement. Les mobilités actuelles ne sont pas en reste, loin de là : l'augmentation de la fréquentation des transports en commun ou la préférence du train contre l'avion participent à l'augmentation des besoins en électricité. Le premier consommateur industriel d'électricité en France est par exemple la SNCF, qui représente à elle seule 10 % du marché. Le développement de l'électrification des lignes, l'augmentation du trafic et les projets de lignes à grande vitesse montrent ainsi une tendance lourde vers l'électrification des transports en commun de masse. Au total, nouvelles mobilités et évolutions des mobilités actuelles consommeront 100 TWh en 2050, contre 15 TWh aujourd'hui<sup>[16]</sup>.

<sup>14</sup> RTE, *Futurs énergétiques 2050* (En ligne : <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>).

<sup>15</sup> Ministère de la Transition écologique, *Les chiffres clés de l'énergie, 2021* (En ligne : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2021/6-bilan-energetique-de-la-france>).

<sup>16</sup> RTE, *Futurs énergétiques 2050*, *op. cit.*

Pour vivre connecté, enfin. En seulement cinq ans, entre 2013 et 2017, la consommation globale du numérique a augmenté de 50 %, passant de 2 000 à 3 000 TWh par an selon The Shift Project, contre moins de 10 % pour la consommation électrique mondiale<sup>[17]</sup>. France Stratégie prévoit même que « d'ici 2025, la consommation énergétique du numérique devrait continuer à croître à un rythme annuel de 10 % et pourrait se situer entre 5 700 et 7 300 TWh en 2025<sup>[18]</sup> ».

## II. Le champ des énergies renouvelables est à clarifier pour prioriser durablement le solaire

### Les énergies renouvelables, un domaine éclaté sans véritable énergie leader incontestée

Les énergies renouvelables représentent en France un secteur certes en croissance mais éclaté, aux qualités de progression et d'exploitation variables :

- l'éolien est un secteur en forte progression mais aux résultats discutables et fortement contestés ;
- l'hydraulique semble être au maximum de ses possibilités ;
- les biocarburants présentent un bilan énergétique contrasté en produisant du CO<sub>2</sub> et en déforestant de larges zones pour laisser la place à la culture intensive d'huile de palme, de canne à sucre et de colza<sup>[19]</sup>, également consommatrice d'insecticides chimiques pour préserver leur production ;
- le bois (ou biomasse) est un secteur neutre mais présente aussi un risque de déforestation<sup>[20]</sup> et la surexploitation intensive du bois fait peser un risque majeur sur la capacité d'absorption du CO<sub>2</sub> ;
- les pompes à chaleur restent limitées pour des développements à large spectre ;
- et enfin le solaire, ou photovoltaïque.

17 The Shift Project, *Déployer la sobriété numérique*, janvier 2020. (En ligne : <https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/01/2020-01.pdf>).

18 France Stratégie, *Maîtriser la consommation du numérique : le progrès technologique n'y suffira pas*, octobre 2021. (En ligne : <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-2020-dt-empreinte-numerique-octobre.pdf>).

19 Responsable de 2 à 3% de la déforestation mondiale, selon le Centre de recherche agronomique pour le développement. (Vincendon S., « Les biocarburants, une filière pas si bio », *L'Express*, 12 juin 2018. En ligne : [https://www.lexpress.fr/actualite/societe/environnement/les-biocarburants-une-filiere-pas-si-bio\\_2016120.html](https://www.lexpress.fr/actualite/societe/environnement/les-biocarburants-une-filiere-pas-si-bio_2016120.html)).

20 Ayant pour conséquence de diminuer considérablement les capacités d'absorption du CO<sub>2</sub>.

De ces types d'énergie seuls deux disposent d'un seuil de croissance significatif : l'éolien et le solaire. Les autres, pour intéressants qu'ils soient, (l'hydraulique notamment) sont soit limités par leurs capacités d'expansion, soit porteurs d'autres problèmes écologiques.

## L'éolien, le diesel du XXI<sup>ème</sup> siècle ?

L'éolien est devenu en une vingtaine d'années un des secteurs majeurs de l'énergie renouvelable. Or, il a été imposé en France presque sans débat. La course effrénée vers l'énergie dite « verte » - avec pour certains en ligne de mire l'abandon du nucléaire - a propagé cette technique *ex abrupto*, laquelle était médiatiquement promue comme la meilleure, sans débat contradictoire.

Le secteur éolien pose pourtant un certain nombre de questions qu'il convient de résumer ici :

- L'énergie éolienne est variable dans le temps, et doit être utilisée en complément d'une autre source d'énergie. La plage de fonctionnement des éoliennes dépend d'un compromis entre la force des vents et les contraintes techniques d'exploitation<sup>[21]</sup>.
- L'éolien est, selon les organisations de protection animale, une menace pour les oiseaux et pour les chauves-souris, notamment en période migratoire. Ce risque est cependant contesté par les producteurs qui défendent un nombre de morts limités et largement contrôlable par une politique adaptée et des implantations réalisées en harmonie avec les acteurs écologiques<sup>[22]</sup>.
- Le recyclage des éoliennes est difficile et remis en question par certains experts<sup>[23]</sup>. La durée de vie de leur structure est de 20 ans et ne peut être recyclée ou éliminée de manière saine<sup>[24]</sup>. En 2050,

21 Futura Planète, *Pourquoi les éoliennes ne peuvent exploiter tous les vents*, (En ligne : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/energie-renouvelable-eoliennes-ne-peuvent-exploiter-tous-vents-1098/>).

22 Débat à retrouver sur Innovent, « Les arguments anti-éoliens, rétablir la vérité sur des idées reçues ». (En ligne : <https://innovent.fr/wp-content/uploads/2021/09/Arguments-anti-eolien.pdf>).

23 Franceinfo, « Vrai or Fake : Comment recycler les éoliennes ? », 3 juin 2021. (En ligne : [https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/environnement-comment-recycler-les-eoliennes\\_4649155.html](https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/environnement-comment-recycler-les-eoliennes_4649155.html)) & Benezet E., « Éoliennes : le recyclage en question », *Le Parisien*, 20 mai 2019. (En ligne : <https://www.leparisien.fr/economie/eoliennes-le-recyclage-en-question-20-05-2019-8075565.php>).

24 Conseil général de l'environnement et du développement durable, *Économie circulaire dans la filière éolienne terrestre en France*, mai 2019, 88 p. (En ligne : <https://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/notice?id=Affaires-001376&reqId=e291e9af-5fff-4bc1-834f-03c155e529be&pos=12>).



les déchets générés par les pales de turbine sont estimés à 43 millions de tonnes<sup>[25]</sup>.

- Le coût d'installation d'une éolienne est important. Il nécessite de considérables investissements. Après le départ du propriétaire de l'éolienne (le promoteur), le propriétaire foncier est responsable de son démantèlement<sup>[26]</sup>.
- Impact visuel, sonore, et destruction des paysages. Les lignes d'éoliennes de plus en plus nombreuses sont considérées comme de véritables nuisances à l'environnement patrimonial pour les populations avoisinantes<sup>[27]</sup>. Or celles-ci sont appelées à se multiplier. Ainsi, nonobstant de véritables qualités énergétiques, l'éolien risque de se voir confronté assez rapidement à un rejet général lié aux nuisances visuelles et sonores – dimension de la protection de l'environnement longtemps oubliée ou écartée d'un revers de main par les décideurs.

Toutes ces faiblesses plaident au minimum pour diminuer de manière progressive le soutien à l'éolien, qui pourrait à terme nous apparaître comme le diesel du XXI<sup>ème</sup> siècle : une fausse bonne idée.

## Le solaire, une énergie propre, adaptable et largement acceptée

Face à ses concurrents, l'énergie solaire dispose d'atouts particulièrement importants.

Tout d'abord, l'énergie solaire est un moyen de production d'énergie renouvelable propre qui n'émet aucun gaz à effet de serre. Sa matière première, le soleil, est gratuite, inépuisable et disponible.

Sa technologie est diffuse, adaptable, et respecte le cadre de vie : les panneaux solaires se fondent facilement dans l'environnement

25 Franceinfo, « Vrai or Fake : Comment recycler les éoliennes ? », 3 juin 2021. (En ligne : [https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/environnement-comment-recycler-les-eoliennes\\_4649155.html](https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/environnement-comment-recycler-les-eoliennes_4649155.html)).

26 Adeline M., *Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne*, TotalEnergies, 6 avril 2020. (En ligne : <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/energie-renouvelable/les-avantages-et-inconvenients-de-l-energie-eolienne>).

27 Deux récents sondages mettent en lumière une baisse de popularité et d'acceptabilité des éoliennes dans la population française : Odoxa (en ligne : <http://www.odoxa.fr/sondage/leolien-a-moins-le-vent-en-poupe/>) et Ifop (en ligne : <https://www.ifop.com/publication/limage-de-lenergie-eolienne-aupres-des-francais/>).

urbain et rural et s'insèrent utilement dans les dispositifs d'activités productives : agriculture, élevage, industrie, artisanat, tertiaire. À ce propos, 76 % des Français seraient favorables à l'installation d'un champ de panneaux solaires à proximité de leur domicile, contre 49 % pour un parc éolien et 38 % pour une centrale nucléaire<sup>[28]</sup>.

L'énergie solaire peut être utilisée partout, dans les sites isolés ou difficiles d'accès et produire de l'électricité dans des endroits sans connexion au réseau. Elle propose un accès individuel et collectif : contrairement à ses concurrents (en dehors de quelques propriétaires de centrales hydrauliques privées), l'énergie solaire est accessible aux particuliers comme aux collectivités. Combinée au stockage d'énergie et aux solutions logicielles intelligentes, le solaire devient une source d'énergie fiable et moins coûteuse. Elle peut se revendre et permet un revenu régulier pour des particuliers.

L'autoconsommation est sans conteste l'un des points forts du solaire. La production et la consommation de sa propre électricité par le biais d'une installation solaire représente un véritable levier de moindre dépendance énergétique, qui permet une semi-autonomie des dépenses énergétiques sur des cycles de 20 à 30 ans. Elle trace surtout les perspectives à long terme d'une production, vente et distribution d'électricité ultra-subsidaire et quasi-immédiate. Le Syndicat des énergies renouvelables (SER) distingue d'ailleurs cette voie comme une orientation majeure pour l'avenir de la filière<sup>[29]</sup>.

Le solaire possède enfin un avantage plus discret aux conséquences moins immédiates mais tout aussi intéressantes : la performance énergétique. L'installation d'une centrale solaire contribue en effet à améliorer la performance énergétique d'une maison, mesurée par son diagnostic de performance énergétique (DPE) sur une échelle de A à G. La note moyenne des maisons en France est D<sup>[30]</sup>, et l'installation de panneaux solaire permet d'améliorer automatiquement ce score, avec à la clé une revalorisation du bien sur le marché qui peut atteindre + 10 %<sup>[31]</sup>. Pour une surface moyenne d'une maison en France (120 m<sup>2</sup>)

---

<sup>28</sup> Sondage Harris Interactive pour l'Institut Choiseul, *op.cit.*

<sup>29</sup> SER, « Les propositions du SER », *Solaire photovoltaïque*. (En ligne : <https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/les-energies-renouvelables/solaire/solaire-photovoltaique/>).

<sup>30</sup> Notaires de France, *La valeur verte des logements en 2020, octobre 2021*. (En ligne : <https://www.notaires.fr/fr/immobilier-fiscalite/etudes-et-analyses-immobilières/performance-énergétique-la-valeur-verte-des-logements>).

<sup>31</sup> *Ibid.*

et pour des prix moyens de la construction au m<sup>2</sup> (1523 €/m<sup>2</sup>, évitant ainsi les écarts en fonction de la localisation), une maison peut ainsi se valoriser jusqu'à + 18 276 €.

Au-delà de ses avantages techniques et pratiques, l'énergie solaire bénéficie d'une forte adhésion de la population qui la rend quasi-consensuelle. Selon l'étude d'Harris Interactive pour l'Institut Choiseul, plus de 9 Français sur 10 (91 %) déclarent avoir une bonne image de l'énergie solaire, ce qui en fait la source d'énergie ayant la meilleure image, devant l'énergie hydroélectrique (85 %) ou la géothermie (82 %). Le photovoltaïque est de surcroît considéré comme une énergie « propre » et une « source de revenus pour les territoires où les parcs photovoltaïques sont implantés » pour 87 % des sondés.

### **III. Placer le couple nucléaire-solaire au coeur de la stratégie énergétique française**

#### **Une complémentarité forte entre le nucléaire et le solaire pour répondre à la double urgence de la décarbonation et de l'électrification**

L'énergie solaire peut parfaitement cohabiter avec le nucléaire dans la perspective d'un rééquilibrage des masses de production d'énergie. La production de CO<sub>2</sub> est nulle pour l'un et très faible pour l'autre. Cela est confirmé par les scénarios RTE.

Tout récemment, RTE a présenté une étude en profondeur sur l'avenir prévisible de la fourniture d'énergie dans notre pays<sup>[32]</sup>. Les perspectives sont regroupées en différents scénarii : Mo ; M1 ; M23 ; N1 ; N2 et N03. Chacun d'entre eux prévoit une part plus ou moins importante du nucléaire et des énergies renouvelables dans le mix énergétique. Le scénario M1 prévoit par exemple un développement soutenu et majoritaire des énergies renouvelables (87 %) par rapport au nucléaire (13 %), sans aucune construction de nouveaux réacteurs. Les énergies renouvelables, portées par la filière photovoltaïque (PV) essentiellement, seraient réparties de manière diffuse sur le territoire, signifiant une « *mobilisation forte des acteurs locaux participatifs* ».

<sup>32</sup> Pour le texte intégral et le détail des scénarii, voir *Futurs énergétiques 2050, Rapport complet de l'étude*. (En ligne : <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>).

*et des collectivités locales* ». Le photovoltaïque représenterait alors 36 % de la production d'électricité. Les scénarii N1 et N2 prévoient une part moins importante des énergies renouvelables, tout en les maintenant majoritaires. La filière nucléaire serait relancée, avec une construction de nouveaux réacteurs par paire tous les cinq ans pour ce qui est du scénario N1 et une part du photovoltaïque à 22 % ; idem pour le scénario N2 qui prévoit une fréquence de construction des réacteurs plus importante faisant ainsi baisser la part de production du photovoltaïque à 17 %. Enfin, le scénario N03 dresse un panorama du 50/50, avec un mix de production qui repose « à part égale entre les énergies renouvelables et le nucléaire à l'horizon 2050 ». Le photovoltaïque serait alors moins représenté, avec seulement 13 % de la production d'électricité.

Ainsi, à l'horizon de vingt-cinq ans, que l'on se place dans l'hypothèse de l'abandon rapide du nucléaire ou de l'équilibre, la part du photovoltaïque dans le mix énergétique français devrait se situer entre 13 % et 36 %, soit dans tous les cas, un besoin de croissance allant de considérable à exceptionnel par rapport à la seule situation actuelle – mais encore insuffisant pour un véritable changement d'échelle.

Le scénario RTE le plus pertinent pour la seule filière solaire semble être celui de la « répartition diffuse » (Scénario « M1 ») se concrétisant dans le « *développement très important des énergies renouvelables réparties de manière diffuse sur le territoire national et en grande partie porté par la filière photovoltaïque* », avec une cible plus qu'ambitieuse d'un peu plus de 200 GW installés en 2050.

Les hypothèses à énergie nucléaire basse voire nulle font *de facto* automatiquement monter la part du renouvelable et donc du solaire dans le mix. Mais elles interrogent sur la capacité raisonnable à obtenir un tel résultat à court terme sans provoquer de crise énergétique et déstructurer de larges secteurs industriels. L'acceptabilité en soi de ces transformations à marche forcée par la population (déjà opposée à l'éolien massif) va dans ce même sens. Les scénarios nucléaires conservant une part significative semblent les plus à même d'accompagner la transformation, mais devront être dépassés. Surtout, l'urgence à la fois climatique et énergétique liée aux besoins croissants en électricité (élimination des combustibles fossiles pour le chauffage des particuliers d'ici à 2040, développement

des infrastructures de recharge pour les véhicules électriques, etc.) n'est pas compatible avec les seules temporalités du nucléaire.

Dans ce schéma, la complémentarité solaire-nucléaire est donc amenée à trouver une forte rationalité : miser sur deux solutions aux temporalités, aux infrastructures et aux technologies très différentes pour converger vers la montée de l'offre d'électricité décarbonée.

De récentes réunions à l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de Vienne en 2018 ont étudié la question de la synergie entre les modèles nucléaires et solaire. Les conclusions en sont intéressantes :

*« Les deux principales options en matière d'énergie à bas carbone sont l'électronucléaire et les énergies renouvelables, notamment les énergies éolienne, solaire et hydroélectrique, l'énergie de la biomasse, la géothermie et les technologies marines. Nombre de pays ont inclus ces sources d'énergie dans leur bouquet énergétique, mais peu se sont penchés sur les synergies possibles entre elles. [...] En permettant de répondre à une demande irrégulière grâce à l'exploitation en régime flexible (ou exploitation en suivi de charge), l'électronucléaire peut accroître l'efficacité des énergies renouvelables<sup>33</sup> ».*

Il convient ainsi de penser la relation nucléaire-solaire en termes de complémentarité. L'électricité sera bientôt la source principale d'énergie au monde, et dans cette perspective, les deux secteurs doivent fonctionner en interaction permanente et en harmonie, ce qui suppose une planification solide basée sur des scénarios prévisionnels crédibles et raisonnables.

Ainsi, la nécessaire complémentarité solaire-nucléaire impose de soutenir les scénarios N1, N2 ou N3, favorables au développement de l'atome, avec une voie médiane et idéale qui tendrait vers scénario N1 où le nucléaire monterait en gamme (exploitation du parc existant et développement du nouveau nucléaire) et le solaire s'imposerait comme la première énergie renouvelable du mix, en totalisant 140 GW installés en 2050.

---

<sup>33</sup> AIEA, *Les synergies entre le nucléaire et les énergies renouvelables : les participants à une réunion de l'AIEA examinent les options en matière de production d'énergie décarbonée et de cogénération*, 2 novembre 2018. (En ligne : <https://www.iaea.org/fr/newscenter/news/les-synergies-entre-le-nucleaire-et-les-energies-renouvelables-les-participants-a-une-reunion-de-laiea-examinent-les-options-en-matiere-de-production-denergie-decarbonee-et-de-cogeneration>).

À l'occasion du lancement du plan « France 2030 » en octobre 2021 et du discours de Belfort du 10 février 2022, le président de la République, Emmanuel Macron, a annoncé vouloir relancer la filière nucléaire en faisant « *émerger en France des réacteurs nucléaires de petite taille, innovants et avec une meilleure gestion des déchets<sup>34</sup>* ». Cela se fera par la construction de 6 réacteurs EPR 2 d'ici 2050, la prolongation de la durée de vie de certains réacteurs et l'objectif de construction d'ici 2030 d'un premier Small Modular Reactor (SMR), le tout faisant passer la puissance du parc nucléaire français de 61 à 86 GW, soit une augmentation de 40 %. Les annonces sur le nucléaire se sont faites conjointement à des annonces fortes sur les énergies renouvelables, dont la production devrait « *doubler d'ici 2030* », essentiellement par l'éolien en mer et le solaire. Ces déclarations montrent ainsi que la complémentarité forte entre le nucléaire et le solaire a été reconnue jusqu'au sommet de l'État.

### **La stratégie française officielle : une impulsion positive à approfondir avec force**

Le 3 novembre 2021, la ministre de la Transition écologique et solidaire, Barbara Pompili, a présenté un plan d'actions gouvernemental visant à renforcer la place du solaire dans le mix énergétique national. Ce plan se décline en quatre grands axes :

« 1) *Faciliter le développement du photovoltaïque dans les zones présentant le moins d'enjeux environnementaux (annonce de la publication sous 6 mois d'un arrêté pour les installations au sol  $\leq$  500 kWc, sur des terrains dégradés présentant des enjeux limités en termes de biodiversité et de paysage) ;*

2) *Mobiliser de nouvelles surfaces pour le développement du photovoltaïque, tout en minimisant les impacts environnementaux (annonce de 1000 projets photovoltaïques sur foncier public d'ici 2025) ;*

3) *Simplifier les procédures administratives pour les projets présentant le moins d'impact en termes d'occupation des sols (annonce d'un allègement de procédures administratives pour les petits projets, suppression de l'évaluation environnementale et du permis de construire) ;*

<sup>34</sup> Présidence de la République, France 2030. (En ligne : <https://www.elysee.fr/emmanuel-macron/france2030>).

4) *Accompagner les acteurs du photovoltaïque (annonce de la publication prochaine d'un arrêté fixant le taux de réfaction à 60 % (réduction des coûts de raccordement<sup>[35]</sup>))* ».

Ce plan apparaît comme les prolégomènes de ce qui devrait être le grand plan solaire pour la France de demain. Il a pour objet d'amplifier le développement du solaire par des mesures touchant à l'environnement réglementaire et l'accompagnement, mais ne pense pas l'après du développement. Il ne contient en effet aucune annonce sur la recyclabilité des panneaux ni sur une éventuelle filière de recyclage.

Il est loin de pouvoir se comparer aux objectifs affichés par d'autres pays, notamment ceux des États-Unis. Le plan américain affiche une très forte ambition (passer de 4 % de l'énergie produite par le solaire à plus de 40 % d'ici 2050) et se justifie explicitement par l'opportunité qu'offre la baisse des coûts du photovoltaïque. Les modalités du plan doivent encore être précisées par le Congrès mais devraient se traduire à la fois par l'installation sur le territoire américain de dizaines de centrales solaires comptant chacune des millions de panneaux et par un développement du photovoltaïque chez les particuliers notamment grâce à des aides pour le solaire résidentiel<sup>[36]</sup>.

Toutefois, de récentes annonces semblent témoigner d'une prise de conscience de l'urgence et de l'opportunité rare qui s'offre à nous pour le développement du photovoltaïque. En France, jusqu'à très récemment, les objectifs annoncés restaient de l'ordre de l'ajustement vers le haut et de la lente montée en gamme ; le solaire résidentiel est trop peu pris en compte et son effet de levier est ignoré. Un signal important a été apporté dans la stratégie énergétique dévoilée lors du discours de Belfort<sup>[37]</sup> où Emmanuel Macron, prenant acte des besoins croissants d'électrification à venir, appelle à produire

---

35 Ministère de la Transition écologique, *Plan d'actions pour accélérer le développement du photovoltaïque*, octobre 2021. (En ligne : [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/21189\\_Plan-actions\\_Photovoltaïque-1.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/21189_Plan-actions_Photovoltaïque-1.pdf)).

36 Rauline N. « Les États-Unis veulent faire du solaire leur première source d'énergie », *Les Échos*, 8 septembre 2021. (En ligne : <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/les-etats-unis-veulent-faire-du-solaire-leur-premiere-source-energie-1344470>).

37 Mouterde P. « Outre le nucléaire, Emmanuel Macron mise sur le solaire et l'éolien offshore pour décarboner la France », *Le Monde*, 11 février 2022. (En ligne : [https://www.lemonde.fr/economie/article/2022/02/11/a-cote-du-nucleaire-emmanuel-macron-mise-sur-le-solaire-et-l-eolien-offshore-pour-decarboner-la-france\\_6113238\\_3234.html](https://www.lemonde.fr/economie/article/2022/02/11/a-cote-du-nucleaire-emmanuel-macron-mise-sur-le-solaire-et-l-eolien-offshore-pour-decarboner-la-france_6113238_3234.html)).

« jusqu'à 60% d'électricité en plus ». Si le nucléaire est un pilier de cette nouvelle stratégie énergétique, la production électrique des énergies renouvelables doit parallèlement doubler d'ici 2030. Au premier plan de ce bouquet EnR se trouvent le solaire et l'éolien en mer. L'ambition solaire est de multiplier par 10 la puissance installée pour atteindre les 100 GW.

Ces objectifs semblent en mesure d'apporter ce qui doit être un véritable objectif national : le changement d'échelle complet de l'énergie solaire. Celui-ci pourrait d'ailleurs s'appuyer sur une impulsion européenne déjà naissante.

### L'Union européenne, un « Solar Continent » en puissance ?

L'Union européenne s'est engagée depuis plusieurs années pour le développement des énergies renouvelables sur son territoire.

Par le premier Paquet Énergie Climat, l'UE s'est fixée, dès 2009, trois objectifs contraignants pour 2020 : diminuer de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 ; porter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique européen à 20 % ; et réaliser 20 % d'économies d'énergie.

Cinq ans plus tard, le cadre d'action des politiques du climat et de l'énergie pour la période 2020-2030 était approuvé par le Conseil européen et définissait trois objectifs à l'horizon 2030 :

- une réduction de 40 % des émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 ;
- une augmentation de 27 % de la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale brute ;
- une augmentation de 27 % de l'efficacité énergétique.

L'UE joue également un rôle d'incitation à la recherche sur le solaire dans le cadre de ses programmes cadres de recherche et développement (« Horizon 2020 », notamment) et poussant les projets pour les énergies renouvelables (capteurs, batteries, comme le projet SFERA-III : Installations solaires pour l'Espace européen de la recherche<sup>[38]</sup>).

---

<sup>38</sup> Horizon 2020, Appel à projets pour l'accès aux installations solaires de SFERA-III, 2021. (En ligne : <https://www.horizon2020.gouv.fr/cid155846/appe-a-projets-pour-l-acces-aux-installations-solaires-de-sfera-iii.html>).



Surtout, l'Union européenne a posé les bases d'un déploiement diffus de l'énergie solaire en précisant par son droit récent<sup>[39]</sup> la notion de « communautés énergétiques ». Le Clean Energy for all Europeans package ou Clean Energy Package (CEP), ensemble de huit textes législatifs européens, met en place un véritable cadre global pour la politique énergétique de l'Union<sup>[40]</sup> et introduit ce principe de communauté énergétique, qu'il distingue en deux types : les « communautés d'énergie renouvelable » et les « communautés énergétiques citoyennes ». Elles ont toutes deux le même objectif, qui est de « *fournir des avantages environnementaux, économiques ou sociaux à ses actionnaires ou à ses membres ou aux territoires locaux où elle exerce ses activités, plutôt que de générer des profits financiers*<sup>[41]</sup> » et reposent toutes deux sur une « *participation ouverte et volontaire*<sup>[42]</sup> » et sur un contrôle par des « *membres ou des actionnaires qui sont des personnes physiques, des autorités locales, y compris des communes, ou des petites entreprises*<sup>[43]</sup> ». Ainsi, ces communautés participent à la fois à une meilleure organisation et distribution énergétique du territoire, mais surtout permettent à des acteurs jusque-là marginaux voire exclus de prendre part à une production d'énergie plus locale et durable. Cette notion consacrée par l'UE engage les États membres à prévoir les cadres juridiques adéquats pour la mise en place de ces communautés. Elle ouvre la voie à une mobilisation effective des citoyens, des acteurs locaux privés et publics à travers de nouveaux modèles de gouvernance et participe à une reterritorialisation et une mutualisation de la production d'énergie. Elle doit servir d'impulsion pour couvrir les territoires européens de communautés capables de fournir de l'énergie.

Ainsi, la stratégie de transition vers le renouvelable peut et doit se projeter immédiatement dans une dimension européenne, le continent européen pouvant devenir à moyen terme un champion du solaire. Les initiatives nationales qui se multiplient, notamment

---

39 La directive (UE) 2018/2001 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables définit la communauté énergétique et la directive (UE) 2019/944 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité en précise ses contours.

40 « The Clean Energy for all Europeans Package », sur Florence School of Regulation, 10 juin 2020. (En ligne : <https://fsr.eui.eu/the-clean-energy-for-all-europeans-package/>).

41 Article L291-1 du Code de l'énergie.

42 Ibid.

43 Article L292-1 du Code de l'énergie.

en Allemagne, en Italie et en Espagne<sup>[44]</sup> mais aussi dans des pays plus traditionnellement dépendants des énergies fossiles comme la Pologne<sup>[45]</sup>, montrent la voie d'une communautarisation de cette problématique et d'une planification stratégique plus intégrée, faisant la part belle à l'autoconsommation et au photovoltaïque résidentiel de manière générale.

Un « paquet Solaire » pourrait être le point d'horizon, l'UE assumant par là sa volonté d'être un « *Solar Continent* ». En témoigne la très récente consultation publique lancée par la Commission européenne le 18 janvier sur la « Stratégie de l'UE en faveur du solaire », qui a pour but de « *faire en sorte que le potentiel de l'énergie solaire soit pleinement exploité pour contribuer à la réalisation des objectifs du pacte vert pour l'Europe en matière de climat et d'énergie*<sup>[46]</sup> ». L'adoption de cette stratégie est prévue pour le deuxième trimestre 2022 et contribuera à réaliser trois objectifs :

- recenser les obstacles à l'utilisation de l'énergie solaire ;
- proposer des mesures pour accélérer son déploiement ;
- rendre les systèmes d'énergie solaire de l'UE plus compétitifs et plus résilients.

---

<sup>44</sup> D'après l'IRENA (International Renewable Energy Agency), l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne sont présent dans le top 10 des pays qui produisent le plus d'électricité grâce à l'énergie solaire (toutes technologies confondue) avec respectivement 46 392 GWh, 23 701 GWh et 15 103 GWh. La France en produisant 12 225 GWh.

<sup>45</sup> Connaissance des énergies, « Pologne : le boom des panneaux solaires au pays du charbon », 19 mai 2021. (En ligne : <https://www.connaissancesdesenergies.org/afp/pologne-le-boom-des-panneaux-solaires-au-pays-du-charbon-210519>).

<sup>46</sup> Commission européenne, « Stratégie de l'UE en faveur de l'énergie solaire », 2022. (En ligne : [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13338-Strategie-de-l%E2%80%99UE-en-faveur-de-l%E2%80%99energie-solaire\\_fr](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13338-Strategie-de-l%E2%80%99UE-en-faveur-de-l%E2%80%99energie-solaire_fr)).

## CHAPITRE 2

# **LE PHOTOVOLTAÏQUE, UNE FILIÈRE À TRÈS FORT POTENTIEL QUI A ATTEINT SA MATURITÉ TECHNOLOGIQUE**

# 02

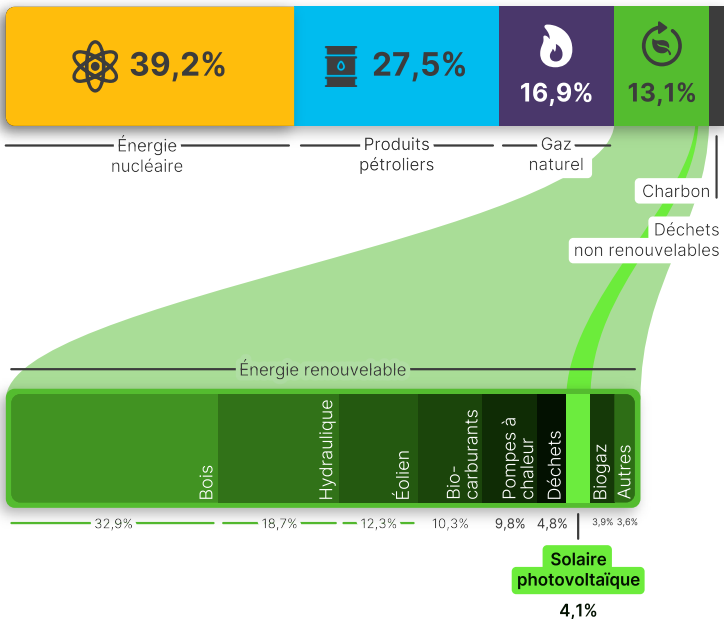
## I. Le photovoltaïque, un gisement énergétique immense mais sous-exploité

### Un potentiel de développement exceptionnel

La France, malgré son climat, son ensoleillement, son ouverture vers les énergies renouvelables et sa volonté d'être le chef de file de la transition écologique sur la scène internationale, a une carence importante en ce qui concerne l'énergie solaire. En 2021, selon le SER, la capacité du parc solaire photovoltaïque en France métropolitaine atteint seulement 12,34 GW contre 18,5 GW pour l'éolien et 25,7 GW pour l'hydroélectricité<sup>47</sup>. En ce qui concerne les chiffres de la consommation d'énergie, la part du solaire reste infime.

### Consommation d'énergie en France

Données : Ministère de la Transition écologique, 2020



<sup>47</sup> SER, *Renouvelables. L'énergie d'un nouvel élan pour la France*, février 2022, p. 32. (En ligne : [https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser\\_livre\\_blanc\\_part2\\_rvb\\_pap.pdf](https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser_livre_blanc_part2_rvb_pap.pdf)).

La filière photovoltaïque française est toutefois loin d'être mal placée. « En 2018, La Chine est le premier producteur d'électricité à partir du solaire photovoltaïque avec 176,9 TWh (32 % de la production mondiale), les États-Unis occupent la deuxième place (81,2 TWh soit 15 %) et le Japon, la troisième place (62,6 TWh soit 11 %)<sup>[48]</sup> ». La France apparaît alors parmi les dix pays par capacité solaire photovoltaïque cumulée avec une production de 10,5 TWh soit 2 % de la production mondiale. Mais en réalité si la France est dans le top 10, elle ne se situe qu'à la 26<sup>ème</sup> place en termes de consommation. Notre pays peine donc à se hisser face à des acteurs toujours plus puissants tels que l'Inde ou la Chine, ou bien face à des pays bénéficiant d'un taux d'ensoleillement plus important tels que l'Italie ou l'Australie.

Le solaire a pourtant des capacités de développement presque illimitées : sa flexibilité lui donne la capacité exceptionnelle de s'implanter partout, quelle que soit la géographie ou le niveau d'enclavement de l'endroit choisi. Le seul frein est le niveau d'ensoleillement. Et paradoxalement, le changement climatique en cours donne un avantage supplémentaire à cette technologie, le seuil d'ensoleillement augmentant significativement dans de nombreuses régions.

Sa marge de développement est donc très importante, partout et pour tous, aussi bien sur des terrains en friche que des nouvelles constructions, sur des bâtiments que dans l'agriculture (plus particulièrement avec l'agrivoltaïsme) et surtout sur le résidentiel, qui représente la grande majorité du bâti en France.

Son développement est d'autant plus prometteur que son coût est en passe de diminuer drastiquement. Une étude prospective de l'US Energy Information Administration précise que le coût de production de l'énergie solaire photovoltaïque, déjà un des moins chers toutes filières confondues, tend à devenir de plus en plus faible avec le temps. Le photovoltaïque deviendrait alors l'énergie la moins chère et permettrait ainsi de libérer et développer un investissement considérable pour les capacités de stockage. Il est même permis de penser que la prospective sous-estime encore l'effet levier du photovoltaïque diffus sur l'électrification des usages.

---

<sup>48</sup> Green Ouest, Principaux producteurs. (En ligne : <https://greenouest-enr.fr/2021/07/05/la-democratisation-du-solaire/>).

En ce qui concerne sa technologie, le retour d'expérience disponible depuis son déploiement dans les années 1980 nous permet d'avoir une bonne connaissance de la filière et donc d'estimer sa rentabilité et sa durée de vie. C'est le cas notamment de la durée de vie des panneaux solaires dont la perte de rendement annuelle se situe aux alentours de 10 % après 30 ans d'exploitation. Certains constructeurs vont même jusqu'à proposer une garantie de 40 ans pour leurs panneaux<sup>[49]</sup>.

Un rapport récent de la Fondation pour la nature et l'homme montre que « *tous les ingrédients sont réunis pour que le solaire photovoltaïque fournisse au moins 25 % de l'électricité mondiale en 2050 ! Un développement rapide et décentralisé dans les pays du Sud permettrait à 1,3 milliard de personnes d'accéder aux services énergétiques essentiels à moindre coût<sup>[50]</sup> !* ». Et le rapport précise qu'il est possible d'estimer à « *4 fois plus, la capacité de solaire qui pourrait être installée en France sans bouleverser le réseau électrique* ».

Cette marge de développement semble être anticipée et attendue par les Français. Selon l'étude d'Harris Interactive réalisée pour l'Institut Choiseul, 79 % des sondés sont favorables à l'augmentation de la production d'électricité issue de l'énergie solaire, ce qui en fait la source d'énergie la plus plébiscitée. L'argument de l'autoconsommation fait mouche : 85 % des sondés sont prêts à installer un panneau solaire chez eux, en grande majorité (78 %) dans le but de « *produire [leur] propre électricité et pouvoir la consommer* ».

Le solaire tient donc en France une place aujourd'hui très insuffisante, alors même que le photovoltaïque (et plus particulièrement le photovoltaïque résidentiel qui présente l'avantage d'avoir une empreinte foncière extrêmement légère) cumule les atouts et semble s'être déjà imposée auprès des Français comme l'option naturelle – évidente et accessible. Énergie « *100 % compliant* », elle est la grande oubliée du débat public, peut-être à cause de son acceptabilité, de sa discrétion, de son faible coût, autrement dit : de sa non-politisation. Il est temps de repolitiser le solaire : en faire un enjeu d'avenir dans la société française, par et pour chacun.

---

49 Garantie proposée par SunPower Maxeon (En ligne : <https://sunpower.maxeon.com/fr/produits-panneaux-solaires/garantie>).

50 Fondation pour la nature et l'homme, « Soutenir le déploiement d'une énergie solaire photovoltaïque à taille humaine partout dans le monde », 11 novembre 2015. (En ligne : <https://www.fnh.org/soutenir-le-deploiement-dune-energie-solaire-photovoltaïque-a-taille-humaine-partout-dans-le-monde/>)

## Le résidentiel, un enjeu majeur et un marché prometteur

Le secteur résidentiel concentre à la fois, comme nous l'avons vu, la plus grande part du bâti en France, et représente aussi une part très importante des besoins, actuels et futurs, en électricité. C'est donc un enjeu majeur et un marché prometteur pour le solaire photovoltaïque. Pour être plus précis, l'enjeu se situe dans ce que l'on appelle globalement la « rénovation énergétique des bâtiments ». Cette rénovation est multiple, peut passer par l'isolation des combles, le remplacement des fenêtres ou encore – et c'est ce qui nous intéresse ici – la pose d'une installation photovoltaïque. Sur les quelques 19,841 millions de maisons que compte l'INSEE<sup>[51]</sup>, 500 000 sont équipées de panneaux solaires<sup>[52]</sup>. En termes de proportions, cela représente 2,5 % des habitations. Mais si l'on résonne par la négative, cela signifie qu'il reste encore 19 341 000 maisons à équiper. Le marché est alors aussi gigantesque qu'ouvert, car les propriétaires de ces biens sont habitués à leur maison et connaissent très bien leur facture d'électricité, ce qui rend cet investissement *de facto* plus acceptable.

C'est en effet ici que se situe tout l'enjeu du développement du solaire. S'il existe une certaine sensibilité concernant la volonté d'être semi-autonome en électricité ou d'avoir une consommation plus responsable, le prix de l'électricité reste le critère premier dans le choix de l'installation d'un panneau solaire par les particuliers. Celui-ci est d'ailleurs en constante augmentation, et même si la France jouit comme nous l'avons dit d'un prix plutôt faible, les études montrent qu'il va augmenter de 50 % entre 2012 et 2030<sup>[53]</sup>.

## II. La numérisation permet une gestion fine et sécurisée de la production et de la consommation

La numérisation est le levier de croissance pour le photovoltaïque de demain. Elle doit soutenir et accompagner les tendances à l'œuvre dans l'électrification massive des usages, leur pilotage et leur contrôle.

51 Insee, *Estimations annuelles du parc de logements au 1er janvier 2019., 2019.* (En ligne : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/4263935/ifi173.xls>).

52 Enedis, « En 2021, la France passe le cap des 500 000 installations photovoltaïques raccordées au réseau électrique d'Enedis », décembre 2021. (En ligne : <https://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/cp-enedis-en-2021-la-france-passe-le-cap-des-500000-installations-photovoltaïques.pdf>).

53 TotalEnergies, *Évolution du prix de l'électricité 2022 en France.* (En ligne : <https://www.talenergies.fr/particuliers/electricite/prix-de-l-electricite/evolution-prix-electricite#c72362>).

## Un pilotage fin de la production et la consommation

L'un des défis majeurs du photovoltaïque est la répartition et l'adéquation au cours d'un cycle temporel de l'énergie produite et de l'énergie consommée, qui ont tendance à s'inverser au cours de la journée (jour/nuit) ou de l'année (hiver/été). Le numérique contribue à construire un réseau stable pour l'avenir en compensant l'instabilité du solaire : les solutions digitales peuvent aider à contrôler la charge de consommation en fonction de la production solaire et répartir dans le temps *l'input* et *l'output*. L'objectif est de réduire les écarts au maximum en déplaçant la consommation de certains équipements lorsque la production est forte et en la limitant lorsque la production est plus faible. Cela doit aussi éviter de surdimensionner les installations de production.

Des outils numériques existent en soutien de la gestion fine de la production et de la distribution de l'énergie. Un écosystème numérique s'est développé autour de l'installation photovoltaïque du particulier : un onduleur intelligent et connecté crée l'interface entre le courant continu des panneaux et le courant alternatif du réseau ; un compteur intelligent enregistre les données de production et de consommation et distribue l'énergie échangée entre le réseau et l'installation photovoltaïque ; un système de *monitoring* numérique permet de piloter l'ensemble, augmenté de solutions d'IA et de *cloud*.

Les outils d'optimisation viennent en aide aux particuliers en concentrant les besoins en énergie du foyer sur les pics de production solaire, afin de profiter au maximum de la production par rapport à l'énergie du réseau : la perte d'énergie est ainsi minimisée et l'énergie restante peut être plus aisément vendue ou stockée.

À l'avenir, la multiplication exponentielle des équipements fonctionnant à l'électricité (électroménager, chauffage, bornes de recharge de véhicules électriques) ne fera que complexifier la répartition de l'énergie dans le temps et entre les usages. Les éléments tendanciels prospectifs montrent que le monde va devoir assurer une gestion fine de la production et de la consommation d'énergie – aussi « verte » qu'elle devienne. Les maisons connectées et *smart cities* nous montrent que l'individu, avec les outils numériques dédiés, pourra jouer en temps réel sur sa production d'énergie (charger sa voiture, chauffer sa maison en son absence, *etc.*). Tout comme



l'industriel pourra bénéficier d'outils avancés de prévision liés à la météorologie, aux études du marché, ou encore aux techniques de logistique « *just in time* ». Les autorités doivent pousser à l'émergence d'infrastructures de vie en conceptions globales intégrées, dans une logique de *smart city*. Les nouveaux lotissements, voire les villes nouvelles devraient être pensés comme un seul ensemble intégrant numérique, transports et production d'énergie.

## Des installations sécurisées

La numérisation permet enfin d'assurer la sécurité, priorité absolue pour système photovoltaïque résidentiel ou tertiaire, en gérant les principaux risques physiques liés à l'installation. Le risque premier reste l'incendie, provoqué essentiellement par des arcs électriques en raison de connexions défectueuses ou de câbles photovoltaïques endommagés, et pouvant atteindre la température de 3000°C<sup>[54]</sup>. Pour répondre à ce risque, des systèmes sophistiqués de détection d'arc électrique et d'interruption quasi-immédiate de l'onduleur existent, augmentés par de l'IA.

## III. Les solutions de stockage de l'énergie permettent la stabilité du réseau

Avec la baisse des coûts, la hausse des rendements énergétiques des panneaux et la numérisation de l'écosystème, le stockage de l'énergie est à certains égards le dernier enjeu fondamental d'une montée en charge de l'énergie photovoltaïque diffuse. Là encore, il s'agit de lisser dans le temps la production et la consommation d'énergie. À l'échelle d'un foyer, d'une communauté énergétique ou encore du pays tout entier, les systèmes de stockage contribuent à la stabilité du réseau en limitant les pics de consommation d'électricité.

### Le stockage de l'énergie solaire en est à ses débuts

Pour une installation photovoltaïque, deux types de consommations sont possibles. Le premier, sans stockage, induit une consommation immédiate de la production d'électricité, par le particulier ou injectée

---

<sup>54</sup> La détection des arcs électriques est complexe. Le signal d'un arc électrique diffère très peu d'un signal classique (0,1 %). De surcroît, les interférences liées à l'onduleur, au réseau ou à la charge peuvent mener à une fausse détection de défauts.

dans le réseau. Le deuxième, avec stockage, lisse la production d'électricité en la stockant dans des batteries. La courbe de production reste la même mais répond davantage aux besoins de la consommation, notamment la nuit, en anticipant la demande.

Ainsi, lorsqu'une installation classique permet au mieux 30 % d'autoconsommation, une installation avec stockage peut permettre dans certains cas 100 %<sup>55]</sup> d'autoconsommation. Le stockage est donc en mesure de répondre à la volonté d'autoconsommation des Français.

Toutefois, la quasi-totalité des installations photovoltaïques en France ne disposent pas d'une capacité de stockage, dont le prix reste rédhibitoire. Sans compter son installation, une solution de 5 kWh coûte environ 5000 €, soit quasiment le même prix que la centrale photovoltaïque.

Il y a donc une marge de manœuvre exceptionnelle en ce qui concerne le développement des batteries, et notamment la diminution de leur prix. D'après l'International Energy Agency (IEA), compte tenu des progrès dans la production de masse et le rendement des cellules, le prix du stockage sera divisé par 10 au cours de la prochaine décennie<sup>56]</sup>. La technologie est donc solide mais doit encore se déployer. Il y a fort à parier que la tendance ne fait qu'émerger, et que le stockage équipera au fil des ans une part de plus en plus importante des installations photovoltaïques.

## Les batteries comme solution de court et moyen terme

La technologie des batteries utilisées en résidentiel est principalement le lithium. Ces batteries ont une durée de vie plus longue et ont une technologie de recyclage optimale. Ces batteries ont aussi une capacité de stockage meilleure que les batteries en plomb. De 100 Wh/kg en 2010, les batteries au lithium-ion atteignent des capacités de stockage

---

55 Révolution énergétique, « Un taux d'autoconsommation proche de 100% grâce à une batterie à stockage thermique », 28 janvier 2022. (En ligne : <https://www.revolution-energetique.com/un-taux-dautoconsommation-proche-de-100-grace-a-une-batterie-a-stockage-thermique/>).

56 IEA, *World Energy Outlook 2021*, octobre 2021. (En ligne : <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>).

de 200 Wh/kg aujourd'hui<sup>[57]</sup>, les récents objectifs environnementaux ayant contribué à développer la recherche et le développement dans ce domaine. De nouveaux efforts doivent être faits pour allonger leurs durées d'utilisation et réduire leur impact environnemental.

À moyen terme et pour des installations de taille conséquente, la solution semble résider dans le développement à grande échelle de batteries à hydrogène, qui transforment l'énergie solaire en hydrogène par électrolyse de l'eau et stockent le gaz dans une pile à combustible. Ces batteries à hydrogène peuvent atteindre des durées de vie de 30 ans et ne contiennent pas de métaux polluants. Au-delà de l'usage résidentiel, les cas d'usage des batteries à hydrogène sont nombreux, dans l'industrie et la mobilité. L'hydrogène permet également des solutions *power to gas* pour fournir des équipements en méthane<sup>[58]</sup>. En somme, il serait très opportun de profiter des récents efforts français et européens en faveur de l'hydrogène pour y raccrocher le sujet du stockage de l'énergie solaire et créer un continuum énergétique décarboné, peu polluant et de longue durée.

L'hydrogène n'est toutefois pas sans défauts, à commencer par son prix élevé et sa disponibilité encore rare. De plus, les propriétés inflammables et explosives de ce gaz posent de réels problèmes de sécurité que les chercheurs tentent de régler sans pour l'instant aboutir à une solution viable et pérenne.

## Vers un stockage virtuel de l'énergie par le réseau ?

Au-delà du stockage physique, des solutions de stockage virtuel par le réseau existent.

La multiplication des voitures électriques fait émerger un modèle de répartition de l'énergie, le « vehicle-to-grid » (V2G). Celui-ci consiste en l'utilisation des véhicules électriques stationnés et branchés comme batteries multiples et temporaires servant à harmoniser le réseau. Sachant qu'une voiture reste stationnée la plus grande partie de son temps et qu'en 2030, 58 % des véhicules vendus en Europe

57 Chabannes F., « Le duel batteries-hydrogène pour la motorisation décarbonée du transport routier », *Connaissance des énergies*, 9 mai 2019. (En ligne : <https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/le-duel-batteries-hydrogene-pour-la-motorisation-decarbonee-du-transport-routier>).

58 CEA, « Le Power to gas ». (En ligne : <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/Power-to-gas.pdf>).

seront tout ou en partie électrifiés<sup>[59]</sup>, ce modèle déployé à l'échelle d'un pays pourrait permettre de stocker provisoirement une grande quantité d'électricité sans besoin d'infrastructures lourdes, hormis les bornes de recharge.

D'autres systèmes de stockage virtuel existent, comme la reprogrammation des onduleurs photovoltaïque d'un modèle de « grid following » vers un modèle de « grid forming<sup>[60]</sup> », mais cette solution en est à ses débuts et ne semble pas industrialisable à l'heure actuelle.

#### **IV. Un cycle intégré de recyclage des équipements garantit la durabilité de la filière**

Un ambitieux plan solaire ne peut être envisagé sans y intégrer les notions de retraitement et recyclage. Les panneaux solaires et leur environnement technique (dont les batteries), pour aussi écologiques qu'ils soient, contiennent des composants (semi-conducteurs, polymères, laine de verre, etc.) dont le retraitement sécurisé est indispensable à une économie et une société décarbonées. Il s'agit, soit de replacer ces composants, après traitement, dans un autre cycle de vie, soit de s'assurer d'une destruction propre et sans risque pour l'environnement et l'humain.

À l'heure actuelle, la filière de recyclage de l'intégralité des composants existe, grâce à des efforts considérables d'investissement et de création de chaînes de traitements. Cela implique, avec la conception/production, la récolte des panneaux usagés, des usines de séparation et de retraitement, des unités de destruction des matériaux irrécupérables en sécurité. Cette dynamique, en marche depuis une dizaine d'années<sup>[61]</sup>, pose les bases d'un cycle vertueux complet.

---

59 BCG, « Automobile : la vente de véhicules électrifiés dépassera celle des véhicules thermiques en 2030 », janvier 2020. (En ligne : <https://www.bcg.com/fr-fr/d/press/3jan2020-automobile-la-vente-de-vehicules-electrifies-depassera-celle-des-vehicules-thermiques-en-2030-237045>).

60 Denis G. Les nouvelles stratégies de contrôle d'onduleurs pour un système électrique 100% interfacé par électronique de puissance. Ecole Centrale de Lille, 2017. (En ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01905827/document>).

61 Notamment avec PV Cycle, organisation non-lucrative qui a pour but de fournir aux entreprises des conseils et des solutions en gestion des déchets. (En ligne : <https://pvcycle.org/?lang=fr>).

## CHAPITRE 3

# **FAIRE DE LA FRANCE UNE SOLAR NATION PAR LE SOLAIRE RÉSIDENTIEL**

# 03

La nécessaire transition énergétique dont il est ici question justifie de considérer les orientations envisagées comme des projets engageant la société française dans son ensemble. Dans cette perspective, pour que l'énergie solaire et plus spécifiquement le photovoltaïque résidentiel atteigne la place qu'il mérite dans notre pays, il est essentiel que l'État assume la mise en place d'outils d'incitations administratifs et surtout fiscaux dynamiques et déploie un récit politique cohérent et de grande ampleur. Il ne suffit pas d'entériner la complémentarité nucléaire / solaire mais de mettre en place de véritables synergies opérationnelles pour encadrer le couple solaro-nucléaire dans un grand plan cohérent et faire de la France, déjà bien identifiée comme un champion historique du nucléaire, une nation du solaire – plus spécifiquement.

Depuis plusieurs années, la France s'identifie comme une « start-up nation ». Les efforts croisés de communication politique, de soutien réglementaire et financier et de libération des forces vives économiques à destination des acteurs de l'innovation ont en grande partie porté leurs fruits. La multiplication de start-ups, scale-ups et maintenant l'émergence de licornes incarnent une France puissante et conquérante par son innovation.

C'est dans ce même esprit de changement sociétal que devraient être appréhendées les évolutions à venir. Elles impliquent une impulsion forte par la puissance publique qui vient innover toutes les strates des écosystèmes concernés afin de donner à chacun les possibilités d'agir pour accomplir cette transformation, en s'accordant aux modes de vie et en donnant un sens à la collectivité.

Les conditions semblent réunies pour lancer la dynamique d'une France *Solar Nation* qui choisit prioritairement l'énergie solaire comme énergie renouvelable pour effectuer sa transition énergétique et qui prône durablement l'usage du photovoltaïque résidentiel.

## **I. Déployer des mesures réglementaires de soutien à tous les échelons pertinents**

Le changement de paradigme implique de s'extraire des dispositifs de soutien existants, qui sont à bien des égards tributaires d'une vision court-termiste et ne servent qu'à canaliser voire brider le déploiement d'installations. Le principe fondamental d'une grande politique de soutien au solaire serait d'en concrétiser systématiquement le caractère prioritaire dans tous les dispositifs publics.

## Repenser la fiscalité à destination des particuliers

La fiscalité sur le photovoltaïque va dans le sens d'un soutien segmenté et timide à la filière<sup>[62]</sup>. Le déploiement massif d'installations solaires par des particuliers nécessitera de libérer les initiatives dans un cadre fiscal bien plus souple. Les consommateurs doivent devenir « consomm'acteurs<sup>[63]</sup> », prenant part à la transition énergétique tout en réduisant leur facture d'électricité.

Ainsi, les leviers fiscaux d'un plus grand usage du solaire par les particuliers et l'accroissement de la surface couverte doivent se traduire d'abord et au minimum par un assouplissement quantitatif de dispositifs existants :

- Réinstaurer le crédit d'impôt pour la transition énergétique pour l'acquisition d'un panneau, mais aussi pour les coûts de son installation.
- Aujourd'hui, les revenus issus de la vente par obligation d'achat de la production d'énergie solaire par des installations de puissance inférieure ou égale à 3 kWc sont entièrement exonérés d'impôt sur le revenu. Il est nécessaire d'étendre cette exonération aux revenus issus de l'énergie produite par des installations de puissance inférieure ou égale à 9 kWc.
- Une prime à l'autoconsommation existe, dégressive et variable selon la puissance installée et répartie sur les cinq premières années de fonctionnement<sup>[64]</sup>. Là aussi, il faut rehausser les seuils de puissance d'installation pour privilégier une cible de puissance allant jusqu'à 9 kWc. Ces primes à l'investissement pourraient également être majorées dans les régions les plus rurales et les moins peuplées.

62 Ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance, « Installation de panneaux solaires : vous avez droit à des aides ! », 3 février 2021. (En ligne : <https://www.economie.gouv.fr/particuliers/aides-installation-photovoltaiques>).

63 SER, *Renouvelables. L'énergie d'un nouvel élan pour la France*, février 2022, p. 33. (En ligne : [https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser\\_livre\\_blanc\\_part2\\_rvb\\_pap.pdf](https://www.syndicat-energies-renouvelables.fr/wp-content/uploads/basedoc/ser_livre_blanc_part2_rvb_pap.pdf)).

64 Les tarifs de la prime à l'autoconsommation sont actuellement les suivants : 370 €/kWc pour une installation inférieure ou égale à 3 kilowatts-crête (kWc) ; 280 €/kWc pour une installation d'une puissance comprise entre 3 et 9 kWc ; 160 €/kWc pour une installation d'une puissance comprise entre 9 et 36 kWc ; 80 €/kWc pour une installation d'une puissance comprise entre 36 et 100 kWc.

- Les taux de TVA sont de 10 % pour les installations de moins de 3 kWc sur des bâtiments de plus de deux ans et de 20 % pour les puissances supérieures à 3 kWc. Là encore, le taux de TVA réduit devrait s'appliquer aux installations de puissance inférieure ou égale à 9 kWc. Le Conseil européen a d'ailleurs proposé une directive au Parlement européen en décembre 2021 afin d'alléger la fiscalité sur les panneaux solaires, en laissant le choix au États membres d'adopter un taux de TVA inférieur à 6 % en ce qui concerne « *l'installation et la fourniture de panneaux solaires* ».

La fiscalité actuelle fait apparaître un seuil symbolique à 3kWc, en dessous duquel les dispositifs fiscaux sont les plus avantageux (exonération d'impôt sur le revenu, prime à l'autoconsommation, TVA à 10%) et les retours sur investissement les plus rapides (de l'ordre de 6 à 10 ans). Cet état de fait illustre combien la filière solaire pour les particuliers est bridée, volontairement ou plus sûrement par effet d'inertie administrative, par la puissance publique qui concentre les aides sur des installations individuelles de faible puissance, dédiées essentiellement à l'autoconsommation stricte et limite *de facto* la couverture des toits et des sols.

Ceci alors même que l'efficacité de rendement croissante des panneaux a permis de diminuer la surface couverte pour une même puissance installée, tandis que les coûts fixes (installation, raccordement, maintenance) restaient stables.

Les particuliers doivent être en mesure de profiter d'installations plus puissantes pour une même surface couverte. Surtout, la fiscalité et plus généralement les mesures d'incitation doivent permettre de couvrir le plus de surface disponible possible, dépasser la logique de l'autoconsommation pour celle de la mutualisation en libérant tout le potentiel du photovoltaïque et sa contribution au réseau national, qui ne fera que croître avec l'usage des solutions de stockage.

Il faut donc au minimum dépasser ce seuil des 3 kWc et le rapprocher des 9 kWc<sup>65</sup>. Mais il s'agit surtout de soustraire le soutien au solaire d'une logique comptable et segmentée, concentrée sur la seule notion de puissance installée : en raisonnant en termes d'énergie, les pouvoirs

---

65 Une installation de 9 kWc produit annuellement entre 8 100 et 12 600 kWh (<https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/combien-de-panneaux-solaires-pour-une-maison/>), soit une moyenne de 10 350 kWh et une production quotidienne moyenne d'environ 28,3 kWh. Une consommation de 28 kWh correspond au chauffage électrique et de l'eau chaude sanitaire quotidien pour une maison de 70m<sup>2</sup> (<https://www.agence-france-electricite.fr/consommation-electrique/moyenne-par-jour/>).



publics pourront au contraire valoriser la performance énergétique, nerf de la guerre menée pour le climat. En misant sur la subsidiarité propre au solaire, ils pourront compter sur l'appropriation des technologies par les particuliers et laisser le champ libre au choix du consommateur considéré comme un producteur d'énergie en puissance, acteur de sa collectivité.

Par ailleurs, les mesures de soutien au solaire de certains de nos voisins européens montrent bien le manque d'ambition français, même si les paysages énergétiques ne sont pas immédiatement comparables. À titre d'exemple, l'Italie soutient massivement le photovoltaïque résidentiel par son « Super Bonus 110 % », un crédit d'impôt de 110 % sur les coûts d'installation des panneaux et des capacités de stockage, rendant l'installation de photovoltaïque résidentiel de facto gratuit pour les particuliers. L'Allemagne, qui peut se targuer d'un prix de vente moyen de l'énergie photovoltaïque de 0,7 €/kWh (contre 0,17 €/kWh en France pour les installations de moins de 3 kWc), n'applique aucun impôt sur l'énergie photovoltaïque en deçà de 30 kWc, ce qui englobe très largement toutes les installations résidentielles voire multi-résidentielles et incite bien mieux le particulier à se faire producteur d'énergie. Enfin l'Espagne, en plus d'une simplification administrative, ne bride pas les aides en fonction de la puissance de l'installation, mais propose au contraire une échelle dégressive de subvention en fonction de la capacité de production. Ainsi, une installation avec une puissance inférieure ou égale à 10 kWc sera subventionnée à hauteur de 600 €/kWc, contre 300 €/kWc pour les installations avec une puissance comprise entre 1000 et 5000 kWc.

D'autres solutions innovantes pourraient être envisagées à l'échelle européenne. De la même manière qu'il existe un marché du carbone en Europe pour les grandes entreprises, un marché du carbone entre les particuliers pourrait voir le jour. Un système incitatif viendrait récompenser les émissions négatives de CO<sub>2</sub> de certains foyers par un système de crédit d'impôt basé par exemple sur la valeur moyenne du CO<sub>2</sub> de l'année. Il s'agit là d'un chantier technique considérable qui pourrait être envisagé comme une dépense d'investissement pour l'avenir.

## Simplifier le parcours administratif pour les projets de toute taille

Une simplification administrative s'impose pour permettre le déploiement de projets de grande et de moindre ampleur. La dynamique de fond du photovoltaïque concerne aussi bien le résidentiel que des installations de taille plus industrielle qui sont nécessaires et complémentaires à un maillage par les installations de particuliers. Dans les deux cas, les procédures administratives sont trop lourdes. Derrière un discours volontariste du politique auquel tout le monde adhère, les acteurs se heurtent à des pesanteurs qui ne poussent pas à la prise de risque. Là comme ailleurs, un toilettage est nécessaire. Le plan solaire national présenté récemment (et décrit supra) annonce une telle volonté gouvernementale<sup>[66]</sup>. On peut alors mettre en appui quelques propositions simples et qui peuvent être rapidement mise en œuvre :

- Simplifier les procédures d'accès pour les individuels, l'industrie et les collectivités ; autoriser les mairies à favoriser les installations solaires sur moins d'un hectare et ainsi de multiplier les petites centrales.
- Penser une politique public-privé : le prix des équipements, pour accessibles qu'ils soient, implique de penser des projets en partenariat entre pouvoirs publics et opérateurs privés. L'opérateur peut prendre en compte les coûts de conception, fabrication, mise en service puis récupérer son investissement par un loyer (sur 20 ou 30 ans) en attendant, éventuellement, la rétrocession de la propriété à l'État.
- Imposer que tout bâtiment à construire soit « solarisable ». Une norme nationale obligerait l'équipement en solaire à la construction, ou la présence d'équipements de raccordement qui permettrait d'équiper et brancher le bâtiment dans un deuxième temps. C'est d'ailleurs une demande des Français, qui s'estiment à 88 % d'accord avec le fait que « tous les immeubles de bureaux devraient intégrer des panneaux solaires » et à 87 % d'accord avec le fait que « toutes les constructions immobilières ou industrielles à venir devraient intégrer des panneaux solaires<sup>[67]</sup> ».

<sup>66</sup> Ministère de la Transition écologique, *Plan d'actions pour accélérer le développement du photovoltaïque*, op. cit.

<sup>67</sup> *Sondage Harris Interactive pour l'Institut Choiseul*, op. cit.

Des solutions pratiques existent pour simplifier le déploiement de projets de toute taille. La juxtaposition des codes administratifs est un frein principal et oblige les porteurs de projets à se conformer à plusieurs référentiels et suivre plusieurs procédures de bout en bout, souvent très similaires. Il est impératif d'instaurer des procédures parallèles et des mécanismes d'équivalence.

Enfin, les différents mécanismes de subvention dont il a été question doivent monter en gamme et rester lisibles pour le particulier. Un guichet unique pourrait permettre aux Français d'accéder à une information centralisée et officielle.

### **La Solar Nation sera territoriale ou ne sera pas : mobiliser tous les échelons politiques, administratifs, géographiques**

Un tel plan de soutien public au solaire doit se traduire à tous les échelons politiques et administratifs, selon les capacités et prérogatives de chacun. À ce titre, deux échelons semblent particulièrement importants pour insuffler une réelle dynamique capable de transcender les inerties et faire aboutir des projets concrets.

Au niveau gouvernemental, la création d'un Haut-Commissariat à l'énergie solaire viendrait donner corps à cette ambition solaire nationale. Le Haut-Commissaire serait le garant et le porte-voix, au sein du Conseil des ministres dont il ferait partie et lors des arbitrages de plus haut niveau, d'une politique cohérente et homogène de soutien au déploiement massif du solaire dans la société.

Au niveau territorial, la subsidiarité du solaire trouve dans l'échelon régional, acteur principal du développement économique territorial, le meilleur moyen de s'exprimer.

Les Schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) introduits par la loi NOTRe de 2015 « *fixent les objectifs de moyen et long termes* » en lien avec la « *maîtrise et valorisation de l'énergie et la lutte contre le changement climatique* ». Par ces schémas, les régions mettent en œuvre leurs compétences notamment en matière de développement durable, même si l'État garde un certain contrôle sur cette nouvelle

compétence<sup>[68]</sup>. Au-delà de ces schémas, des actions individuelles peuvent être mises en place par certaines régions. À l'image de deux régions moteur : l'Occitanie qui s'est engagée à devenir « *la première région à énergie positive d'Europe d'ici 2050, en diminuant les consommations énergétiques et en multipliant par trois la production d'énergies renouvelables* » ; et la région Nouvelle Aquitaine, qui est la région leader en France métropolitaine en ce qui concerne la production d'électricité, accueillant « *près de 27 % de la puissance solaire raccordée en France*<sup>[69]</sup> ».

Les régions Sud et Hauts-de-France ont également mis en place de véritables politiques territoriales. Pour la première « *la Région a renforcé son cadre d'intervention sur cette filière [la filière solaire] : cadastre énergétique, soutien à la décision, soutien à l'investissement (autoconsommation, injection réseau), en priorisant les installations sur toitures, ou sur du 'nouveau' foncier, tel que les parkings (ombrières), plans d'eau (parcs flottants), etc*<sup>[70]</sup>. ». Pour la seconde, la politique « *rev3* » tend à développer de plus en plus la filière solaire avec 23 millions d'euros d'investissements cumulés entre 2015 et 2050. En 2018, un Collectif régional de l'énergie solaire (Corésol) a été lancé et « *marque un moment fort pour le développement de la filière régionale* ». Depuis 2016, « *près de 80 projets en autoconsommation ont ainsi pu être accompagnés à hauteur de 1,8 million d'euros*<sup>[71]</sup>.

Les régions doivent ainsi guider le développement territorial des grands projets solaires (planification, appels d'offre régionaux massifs) comme du soutien aux particuliers (aides et subventions à l'investissement). Leur rôle d'entraînement et d'assistance est particulièrement crucial pour les territoires ruraux, qui ne bénéficient pas des moyens financiers et humains des métropoles et ont tout à gagner à voir se développer le solaire sur les équipements agricoles, les bâtiments des collectivités territoriales voire directement au sol sur le foncier disponible à cet effet.

---

68 Ministère de la Transition écologique, « *SRADDET : un schéma stratégique, prescriptif et intégrateur pour les régions* », 6 octobre 2021. (En ligne : <https://www.ecologie.gouv.fr/sraddet-schema-strategique-prescriptif-et-integrateur-regions>).

69 « *La Nouvelle-Aquitaine championne de l'énergie photovoltaïque* », L'Obs, 2 novembre 2020. (En ligne : <https://www.nouvelobs.com/transition-ecologique/20201102.OBS35523/la-nouvelle-aquitaine-championne-de-l-energie-photovoltaïque.html>).

70 Région Sud, « *Énergies Renouvelables* ». (En ligne : <https://www.maregionsud.fr/la-region-en-action/transition-energetique/energies-renouvelables>).

71 Région Hauts-de-France, « *Le solaire en Hauts-de-France : une filière en plein essor* », 29 septembre 2020. (En ligne : <https://www.hautsdefrance.fr/le-solaire-en-hauts-de-france/>)

Le système existant d'aide et de soutien public au solaire (obligation d'achat, prime à l'autoconsommation, taux de TVA réduit, aides locales) est en grande partie homogène. La très large majorité des aides proposées sont de nature étatique et s'appliquent de la même manière pour tous les territoires. À l'inverse, les aides locales comptent pour une faible part du soutien public. Elles sont éparpillées et très différentes les unes des autres selon la localisation, les moyens financiers des collectivités et les ressources météorologiques. Il est donc nécessaire d'acter la territorialisation du soutien au solaire et de décentraliser fortement les mécanismes d'aide. La régionalisation des tarifs d'achat, des critères et des montants financiers des appels d'offre est une solution pragmatique à la diversité des situations météorologiques. Une plus grande équité entre les territoires doit passer par la différenciation du système d'aide.

L'échelle des établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) est également pertinente pour amorcer et déployer des projets ambitieux dans une logique de subsidiarité. Le plan Climat Air-Énergie Territorial (PCAET), l'« *outil de planification qui a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et maîtriser la consommation d'énergie* » est un des moyens dont disposent les EPCI de plus de 20 000 habitants<sup>[72]</sup>. Il comprend un exercice de planification et de définition d'une stratégie territoriale dont les objectifs portent, pour cette thématique, sur « l'évolution coordonnée des réseaux énergétiques<sup>[73]</sup> ». Le PCAET permet donc à chaque EPCI de décider des crédits alloués au solaire photovoltaïque en fonction des projets qu'il décide de mener et selon les contraintes locales.

Plus finement, la cellule de base de la territorialisation du solaire réside, nous l'avons vu, dans les communautés énergétiques qui sont encore en grande partie à inventer. Citoyens, agriculteurs, collectivités, entreprises de toute taille, producteurs et consommateurs d'énergie peuvent s'y retrouver à l'échelle d'un territoire, dans une double logique de mutualisation et de solidarité et de création de valeur par l'entreprenariat pouvant plaire au plus grand nombre de Français –

72 Actu environnement, « Plan climat-air-énergie territorial (PCAET) », Dictionnaire environnement. (En ligne : [https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/plan-climat-air-energie.php4](https://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/plan-climat-air-energie.php4)).

73 Réseaux PV info, « Plan climat-air-énergie territorial (PCAET) ». (En ligne : <https://reseaux.photovoltaique.info/fr/atteindre-les-objectifs-enr/leviers-operationnels-locaux/plan-climat-air-energie-territorial/>).

le tout sous-tendu par l'enjeu climatique et le besoin d'engagement environnemental qui transcenderont bientôt les clivages politiques traditionnels.

## **II. Structurer une filière d'avenir pour capter tout le potentiel économique et industriel du photovoltaïque**

### **Une filière industrielle de fabrication de panneaux solaires pour rassembler les territoires et les acteurs économiques**

Le développement massif du photovoltaïque serait à même de se traduire dans un grand projet industriel pour la France, nouvelle terre de production, d'utilisation et de reconditionnement des panneaux à grande échelle. En amont, la relocalisation en France des sites de production pourrait permettre la fabrication de panneaux dans des usines géantes de photovoltaïque. L'énergie française fortement décarbonée améliorerait d'autant plus le bilan carbone de la filière dans son ensemble. En aval, des circuits de recyclabilité et de reconditionnement viendraient également mailler le territoire. Des milliers d'emplois directs et indirects (sous-traitants, chaîne de distribution), très territorialisés, pourraient être créés.

Toujours selon l'étude Harris Interactive pour l'Institut Choiseul, nombreux sont les Français qui estiment que ce secteur pourrait apporter de réels bénéfices économiques, comme la création d'emplois (86 %) ou le développement de l'indépendance énergétique de la France (82 %). Et ce, tout en estimant parallèlement que cette énergie pourra lutter contre le dérèglement climatique (84 %).

Le moment s'y prête d'autant plus que des innovations technologiques parvenues à maturité viennent aujourd'hui équilibrer le jeu mondial et peuvent permettre à la France et l'Europe de reprendre l'avantage sur la fabrication de panneaux. La maîtrise de l'hétérojonction de silicium permet aujourd'hui de produire de manière industrielle des panneaux à plus hauts rendements (25% contre 20% pour la technique de l'homojonction majoritaire aujourd'hui<sup>[74]</sup>) ; deux acteurs français, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies

<sup>74</sup> Boivin X. « Comment le CEA prépare le retour du solaire en Europe avec ses cellules à hétérojonction », *Industries et technologies*, 6 octobre 2021. (En ligne : <https://www.industrie-techno.com/article/comment-le-cea-prepare-le-retour-du-solaire-en-europe-avec-ses-cellules-a-heterojonction.66722>).

alternatives (CEA) et l'Institut national de l'énergie solaire (Ines), sont les promoteurs actifs de cette technologie.

Ainsi, la montée en charge industrielle (production, circuits courts, meilleur bilan carbone) et l'innovation technologique (meilleurs rendements) peuvent converger et entrer dans une relation vertueuse avec l'autre levier fondamental du secteur, l'augmentation de la surface couverte.

## **Développer la formation dans les métiers du solaire, vecteurs d'emploi et d'insertion**

Une *Solar Nation* se doit de décliner le solaire dans toutes les dimensions du modèle économique et social. Ainsi, un plan solaire digne de ce nom doit non seulement prendre en compte la création d'emplois induite et donc le besoin de formation et la demande de main d'œuvre qualifiée, mais aussi se fixer comme l'un des objectifs principaux le développement d'une filière solaire vectrice d'insertion sociale, économique et territoriale.

La filière solaire doit se structurer et subvenir à ses propres besoins par des formations professionnalisantes pour tous les métiers de la construction, de la maintenance et de la supervision du photovoltaïque. Elle doit parallèlement mettre l'accent sur l'insertion professionnelle locale des personnes peu qualifiées, par exemple par des clauses d'insertion sociale dans les contrats de construction de centrales.

Enfin, il est nécessaire de faire monter en gamme les écoles dédiées à l'apprentissage des métiers du solaire pour former des élèves, à l'instar du réseau des Écoles de production soutenu par TotalEnergies. De telles écoles serviraient, qui plus est, de lien entre les différents acteurs (les élèves, les entreprises partenaires, les institutionnels, les organismes de formation et les collectivités) et un tel projet participerait grandement à la structuration de la filière solaire tout en l'ouvrant au monde de l'emploi dans des territoires parfois en grande partie ruraux ou enclavés.

### III. Construire un projet et un récit de société autour du solaire

Pour accompagner toute grande révolution technique ou organisationnelle, il est nécessaire de bâtir un récit cohérent et de le déployer au sein de la population et des forces vives. Un projet de société est à construire en France autour de l'énergie solaire, de ses atouts et des solutions mises à disposition de chacun. À ce titre, il revient aux pouvoirs publics, aux entreprises, aux entrepreneurs, aux relais d'influence, convaincus de la nécessité d'imposer le solaire dans la transition énergétique nationale, d'ériger le solaire au rang de projet de société cohérent et attractif et non seulement comme filière parmi d'autres de décarbonation de l'énergie.

#### Un nouveau récit de société : égalité, subsidiarité, solidarité

Dans l'énergie solaire peut s'incarner une nouvelle manière d'aménager l'espace et d'investir les paysages, pour réussir une transition énergétique de tous et avec tous, en accord avec les aspirations des Français. La puissance publique aurait tout intérêt à soutenir le solaire comme un projet politique et industriel rassemblant de manière apaisée toutes les générations.

Le photovoltaïque a des bénéfices sociétaux, économiques et sociaux qui peuvent s'intégrer assez naturellement dans un grand récit collectif. Technologie simple, responsabilisante, le photovoltaïque est accessible aux particuliers comme aux collectivités, adaptable aux milieux et aux circonstances. Le photovoltaïque permet à chacun de répondre à sa mesure à l'urgence climatique tout en acquérant les moyens d'une certaine autonomie énergétique individuelle et collective.

Ce projet de société doit porter l'idée du solaire comme énergie pour tous, par tous et en faciliter l'accès aux particuliers, entreprises, institutions et collectivités<sup>[75]</sup>, le démocratiser et le diffuser largement

---

<sup>75</sup> Mathon J.-F. « Il faut démocratiser le solaire ! », *Le Monde de l'énergie*, 4 juillet 2017. (En ligne : <https://www.lemondedelenergie.com/democratiser-energie-solaire/2017/07/04/> ; « la démocratisation du solaire, *Green Ouest*, <https://greenouest-enr.fr/2021/07/05/la-democratisation-du-solaire/>) & Houellette C., « La démocratisation de l'énergie solaire est belle et bien à nos portes », *Ecohabitation*, 18 août 2017. (En ligne : <https://www.ecohabitation.com/guides/1007/la-democratisation-de-lenergie-solaire-est-belle-et-bien-a-nos-portes/>).



dans les paysages, les pratiques, les usages. Le solaire porte en lui-même l'idée forte de *subsidiarité* : la proximité des besoins réels comme des contraintes locales et l'importance de l'initiative individuelle et ou de la collectivité locale.

Enfin, par la mutualisation des moyens de production et de l'énergie produite, par l'invention de nouveaux modes de gouvernance de communautés, il peut être le creuset de nouvelles solidarités à l'échelle de territoires comme du pays.

### **Promouvoir le développement de la « Solar Culture » par des mesures incitatives**

Des incitations souples, collectives et locales, pourraient être approfondies, à l'instar d'un label « Village solaire » similaire à celui du très populaire « Village fleuri », avec une note graduelle selon le pourcentage d'énergie collective provenant du solaire.

Le recours massif et individuel au photovoltaïque implique de faire de cette source d'énergie un élément central de la vie des Français, une (pré)disposition. Pour ce faire, il est possible d'imaginer un référentiel commun, délivrant de l'information de base sur l'énergie solaire sous un angle pratique. Il pourrait s'agir d'un référentiel d'énergie productible moyenne, mis à disposition par l'ADEME, ou bien d'un indice de couverture solaire quotidien ou hebdomadaire couplé à une mesure de la rentabilité, permettant à tout un chacun de prendre connaissance de la couverture solaire du jour ou de de la semaine et des rendements induits pour des installations solaires de toute taille<sup>[76]</sup>. Ceci afin de rapprocher l'énergie solaire du quotidien des Français et de faire du solaire une culture « grand public », un réflexe quotidien, comme peut l'être la « météo du jour ».

---

<sup>76</sup> Le site [photovoltaïque.info](https://www.photovoltaique.info), très identifié par les acteurs du secteur, propose différents types de mesures et d'indices utiles : <https://www.photovoltaique.info/fr/>.



## CONCLUSION

Notre avenir énergétique se joue aujourd'hui, face à une double urgence qui nous oblige à l'action. Le dérèglement climatique met en péril les données fondamentales de nos existences et de nos sociétés et nous pousse à décarboner massivement et rapidement notre production d'énergie. Parallèlement, les besoins en électricité ne feront que croître massivement, avec la disparition progressive des énergies fossiles et l'électrification exponentielle de nos pratiques.

La solution pour la France réside dans nos deux atouts : le nucléaire, historique, pour continuer de produire de l'électricité décarbonée ; les énergies renouvelables, émergentes, pour faire aboutir à terme la transition énergétique.

Parmi ces énergies renouvelables, le solaire photovoltaïque apparaît comme la meilleure solution : propre, adaptable, facile d'utilisation, largement acceptée, aux coûts décroissants et aux rendements croissants. La filière résidentielle du photovoltaïque offre le meilleur levier de changement, par sa capacité d'entraînement et de mobilisation de la société. Elle doit être mise au service du changement d'échelle réclamé par le président de la République et préconisée par RTE. Il y a urgence.

L'acceptabilité par les populations des grandes orientations nécessaires à cette transition est une opportunité majeure pour accélérer ce changement. D'après notre sondage, 72 % des Français souhaitent que l'énergie solaire participe davantage à la transition écologique en France.

Tous les voyants sont au vert. La maturité de la filière, d'amont en aval, est actée : la technologie est numérisée, sécurisée, pilotable, et le *hardware* recyclable.

Les besoins sont immenses et demandent un accroissement massif des installations photovoltaïques, particulièrement résidentielles. Il ne s'agit plus de soutenir la filière par des mesures paramétriques, mais de faire de la France une *Solar Nation* qui priorise partout le photovoltaïque. Pour cela, des mesures réglementaires de soutien sont bien entendu nécessaires, à tous les échelons pertinents. Une filière pérenne doit être structurée pour innover par le solaire

l'ensemble du tissu économique français. Plus globalement, l'échelle du changement impose de l'inscrire dans un nouveau projet de société. Il s'agit de faire du solaire une solution de notre avenir commun et une aventure collective, car la France de 2050 se joue dans les cinq ans à venir.

## POUR EN SAVOIR PLUS

Retrouvez l'intégralité du sondage réalisé par Harris Interactive pour l'Institut Choiseul grâce au QR code ou au lien ci-dessous :



<https://bit.ly/3Ce9Fe4>

*Sondage Harris Interactive pour l'Institut Choiseul, « Les Français et l'énergie solaire », enquête réalisée en ligne du 14 au 17 janvier 2022 sur un échantillon de 1002 personnes représentatif des Français âgés de 18 ans et plus.*



# TABLE DES MATIÈRES

<b>Synthèse</b> _____	<b>7</b>
<b>Introduction</b> _____	<b>11</b>
<b><i>Chapitre 1 : Réinventer le paysage énergétique français autour du nucléaire et du solaire pour répondre aux besoins en électricité du XXI<sup>ème</sup> siècle</i></b> _____	<b>17</b>
<b>I. Le secteur de l'énergie en France est dominé par la puissance publique et son soutien ancien à un nucléaire décarbonné</b> _____	<b>18</b>
Le poids de l'État dans un marché régulé	18
Des prix historiquement bas qui freinent les investissements lourds	19
Un opérateur dominant marqué par la prééminence du nucléaire	19
L'apparition tardive de nouveaux modes énergétiques	20
L'ouverture récente à la concurrence	21
Des besoins croissants en électricité : se chauffer, se déplacer, se connecter	22
<b>II. Le champ des énergies renouvelables est à clarifier pour prioriser durablement le solaire</b> _____	<b>23</b>
Les énergies renouvelables, un domaine éclaté sans véritable énergie leader incontestée	23
L'éolien, le diesel du XXI <sup>ème</sup> siècle ?	24
Le solaire : une énergie propre, adaptable et largement acceptée	25
<b>III. Placer le couple nucléaire-solaire au coeur de la stratégie énergétique française</b> _____	<b>27</b>
Une complémentarité forte entre le nucléaire et le solaire pour répondre à la double urgence de la décarbonation et de l'électrification	27
La stratégie française officielle : une impulsion positive à approfondir avec force	30
L'Union Européenne, un « <i>Solar Continent</i> » en puissance ?	32
<b><i>Chapitre 2 : Le photovoltaïque, une filière à très fort potentiel qui a atteint sa maturité technologique</i></b> _____	<b>35</b>
<b>I. Le photovoltaïque, un gisement énergétique immense mais sous-exploité</b> _____	<b>36</b>
Un potentiel de développement exceptionnel	36
Le résidentiel, un enjeu majeur et un marché prometteur	39
<b>II. La numérisation permet une gestion fine et sécurisée de la production et de la consommation</b> _____	<b>39</b>
Un pilotage fin de la production et la consommation	40
Des installations sécurisées	41

<b>III. Les solutions de stockage de l'énergie permettent la stabilité du réseau</b>	<b>41</b>
Le stockage de l'énergie solaire en est à ses débuts	41
Les batteries comme solution de court et moyen terme	42
Vers un stockage virtuel de l'énergie par le réseau ?	43
<b>IV. Un cycle intégré de recyclage des équipements garantit la durabilité de la filière</b>	<b>44</b>
<b>Chapitre 3 : Faire de la France une Solar Nation par le solaire résidentiel</b>	<b>45</b>
<b>I. Déployer des mesures réglementaires de soutien à tous les échelons pertinents</b>	<b>46</b>
Repenser la fiscalité à destination des particuliers	47
Simplifier le parcours administratif pour les projets de toute taille	50
La <i>Solar Nation</i> sera territoriale ou ne sera pas : mobiliser tous les échelons politiques, administratifs, géographiques	51
<b>II. Structurer une filière d'avenir pour capter tout le potentiel économique et industriel du photovoltaïque</b>	<b>54</b>
Une filière industrielle de fabrication de panneaux solaires pour rassembler les territoires et les acteurs économiques	54
Développer la formation dans les métiers du solaire, vecteurs d'emploi et d'insertion	55
<b>III. Construire un projet et un récit de société autour du solaire</b>	<b>56</b>
Un nouveau récit de société : égalité, subsidiarité, solidarité	56
Promouvoir le développement de la « <i>Solar Culture</i> » par des mesures incitatives	57
<b>Conclusion</b>	<b>59</b>
<b>Pour en savoir plus</b>	<b>61</b>





# NOTES STRATÉGIQUES DE L'INSTITUT CHOISEUL

*Repenser la souveraineté.  
Briser la tragédie des horizons*  
Lorraine Tournyol du Clos

*Quels leaders pour demain ?*  
Pascal Lorot

*Favoriser l'adoption du Cloud en France.  
Entre compétitivité et souveraineté*  
Christian Saint-Étienne, Hubert Védrine et Aurélien Portuese

*L'avenir de la réassurance post-covid*  
Olivier Pastré et François-Xavier Albouy

*L'eau, un enjeu stratégique mondial.  
Les atouts de la France dans la compétition mondiale*  
Jean-François Daguzan

*Finlande : un modèle de transition énergétique à suivre ?*  
Pascal Lorot

*Pour un nouveau contrat fiscal*  
Gianmarco Monsellato

*Services, croissance et compétitivité*  
Xavier Quérat-Hément

*La forêt française, une belle endormie*  
Didier Lucas

*Industrie des sciences du vivant :  
l'Europe entre ambition et attentisme*  
Pascal Lorot

*Le vaccin, atout au service de la France*  
Pascal Lorot

*Quelle politique spatiale pour la France ?*  
Didier Lucas

*Le Notariat européen en danger*  
Pascal Lorot

# INSTITUT CHOISEUL

L'Institut Choiseul est un think tank indépendant dédié à l'analyse des questions stratégiques internationales et de la gouvernance économique mondiale.

Basé à Paris, son ambition est de créer des espaces indépendants de dialogue au carrefour du monde politique et institutionnel, de la sphère économique et de celle des idées pour fertiliser les débats sur les problématiques contemporaines.

En organisant des événements de prestige et des rencontres informelles entre les principaux dirigeants à Paris, à Bruxelles, en Afrique ou en Russie, en diffusant ses publications auprès des décideurs et des leaders d'opinion influents, l'Institut Choiseul nourrit continuellement les décisions des acteurs économiques et politiques.

Identificateur de talents à travers notamment le *Choiseul 100*, le *Choiseul 100 Africa* ou encore le *Choiseul Ville de demain*, l'Institut Choiseul contribue aussi activement à l'émergence d'une jeune génération de dirigeants reconnus au niveau international.

*Institut Choiseul - 12, rue Auber - 75009 Paris  
Tél : 33 (0) 1 53 34 09 93 - [contact@choiseul.info](mailto:contact@choiseul.info)*

*[www.choiseul.info](http://www.choiseul.info)  
[www.choiseul-france.com](http://www.choiseul-france.com)*

*Twitter : [@instchoiseul](https://twitter.com/instchoiseul)*

*LinkedIn : [Institut Choiseul](https://www.linkedin.com/company/institut-choiseul)*

INSTITUT  
**CHOISEUL**



9 782493 839008