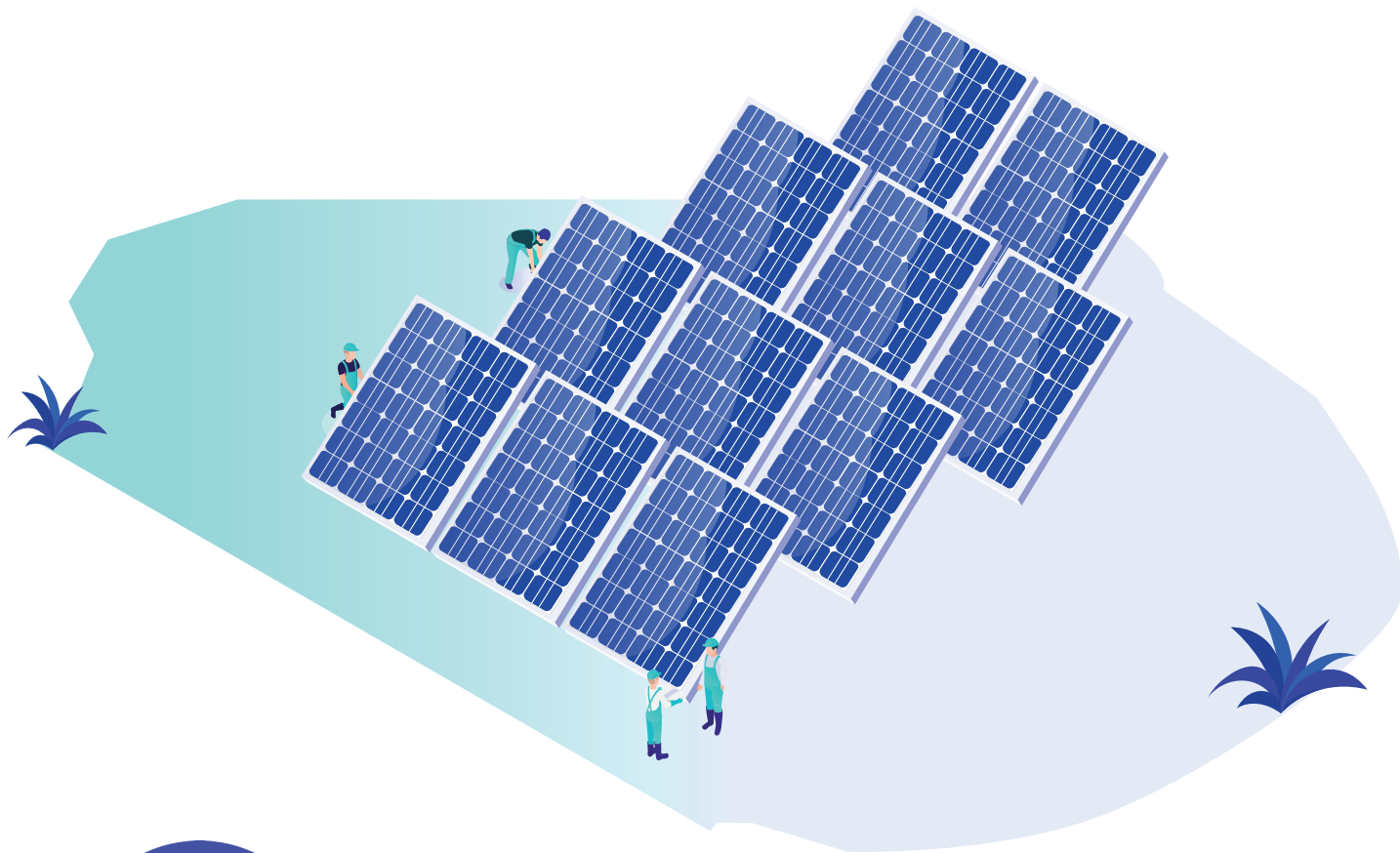


LE MAR CHE

DU

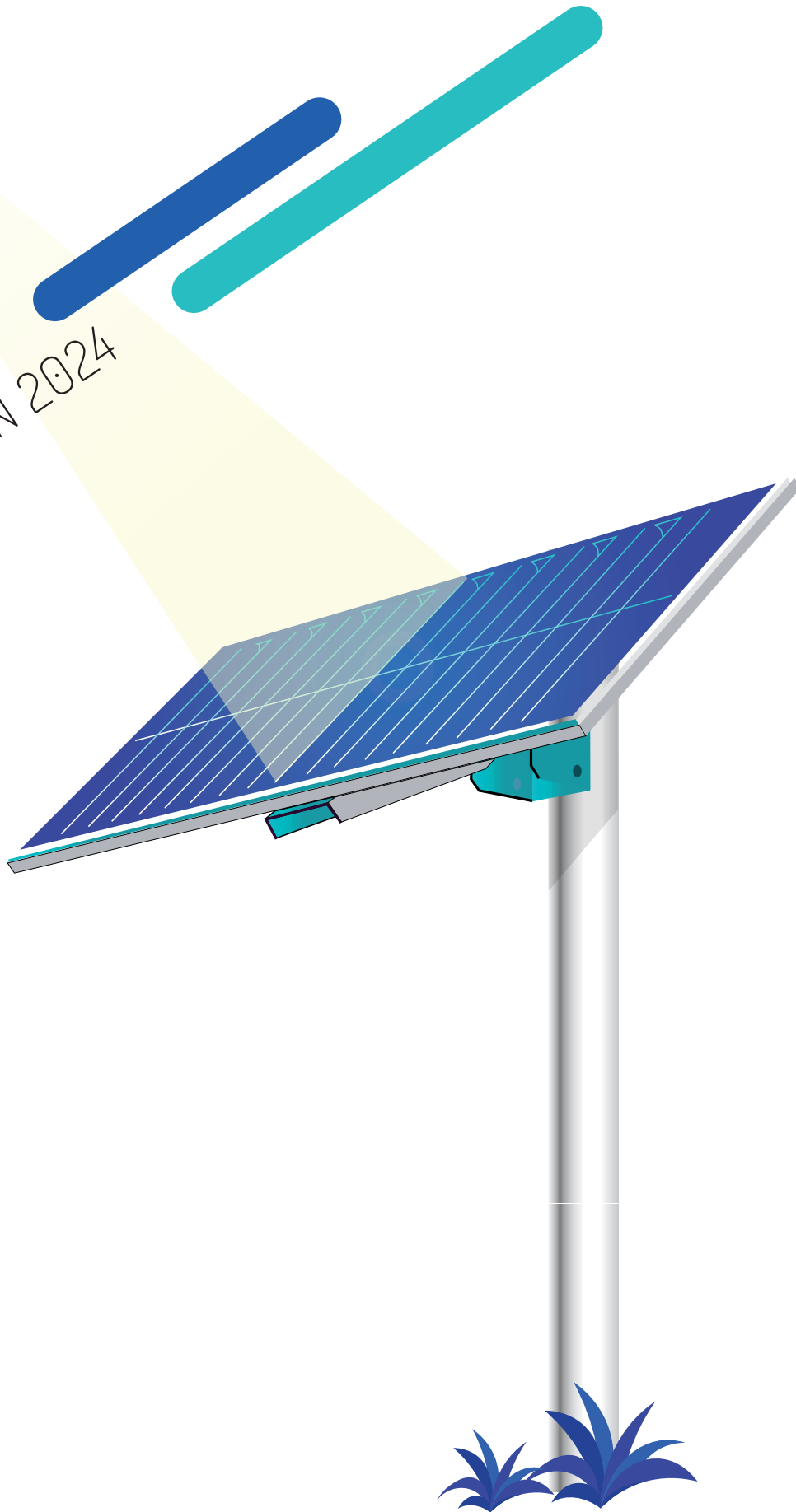
PHOTOVOLTAÏQUE

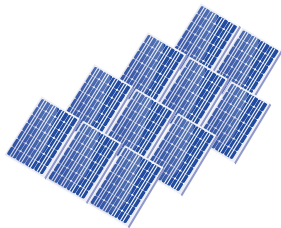


ACTEURS
POUR LA PLANÈTE

LES TRAVAUX PUBLICS

ÉDITION 2024





LE MARCHÉ DES PARCS PHOTOVOLTAÏQUES

L'énergie photovoltaïque est un acteur incontournable d'un mix énergétique plus vert. Elle émerge non seulement comme un élément essentiel pour diminuer notre dépendance aux énergies fossiles, actuellement à l'origine de 86%¹ de la consommation d'énergie primaire, mais aussi comme un moteur pour atteindre rapidement les objectifs de décarbonation et à terme une neutralité carbone. L'engagement national est d'accroître la part des énergies renouvelables à 33% de la consommation finale brute d'énergie d'ici 2030. L'urgence climatique et la nécessité de garantir un approvisionnement énergétique fiable placent donc le développement du photovoltaïque au cœur des priorités énergétiques nationales. Cette technologie bénéficie en outre d'une image positive parmi la population française, 35% des Français la plébiscitant comme la source d'énergie renouvelable privilégiée, d'après une enquête menée par l'ADEME.

Les opportunités du photovoltaïque sont fortes en matière de production d'électricité : avec un potentiel solaire de 1 000 watts par m² disponible sur le territoire, et une efficacité de conversion de 20%, la France pourrait théoriquement couvrir tous ses besoins énergétiques primaires sur seulement un tiers des terrains déjà artificialisés². Cette alternative énergétique devient d'autant plus pertinente que les nouveaux réacteurs nucléaires prévus dans le mix énergétique français ne seront opérationnels que dans plus d'une décennie, posant le photovoltaïque comme une solution viable et immédiate pour combler les besoins énergétiques à court terme.

Encouragé par des cadres législatifs tels que la loi Climat et Résilience et la loi d'accélération des énergies renouvelables, le photovoltaïque est appelé à devenir une des principales sources d'électricité renouvelable du pays, avec un objectif d'expansion de la capacité installée à 75-100 GW d'ici 2035, contre 19 GW actuellement. La capacité photovoltaïque se développe rapidement et production est en augmentation de 21,6 TWh en 2023 (soit +16% par rapport à 2022). Pour encore accélérer et exploiter pleinement le potentiel du photovoltaïque, des efforts accrus en matière de réglementation, d'acceptation sociale, et de résolution des défis liés à l'approvisionnement et au raccordement au réseau s'avèrent indispensables.

Dans ce contexte, les entreprises de Travaux Publics (TP) sont amenées à jouer un rôle prépondérant par leur impact sur la construction des infrastructures nécessaires à l'installation de vastes parcs photovoltaïques, depuis le terrassement jusqu'au raccordement électrique.

Ce dossier s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés par le cabinet Carbone 4, pour la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), sur la place des infrastructures dans la trajectoire de décarbonation de la France et son adaptation au changement climatique³. Il constitue une analyse approfondie du potentiel de développement du secteur photovoltaïque. Il permet de qualifier le rôle que les entreprises de Travaux Publics ont à jouer sur ce marché et d'identifier les opportunités existantes et les éventuelles contraintes auxquelles elles sont confrontées.

¹ SDES, [Bilan énergétique de la France](#)

² [Daniel Lincot](#), Chercheur émérite au CNRS

³ [Carbone 4 \(2022\)](#), Le rôle des infrastructures dans la transition bas carbone et l'adaptation au changement climatique de la France

I. ÉTAT DES LIEUX ET PROJECTIONS DE MARCHÉ



→ COMPRENDRE LES FONDAMENTAUX : DISTINCTION ENTRE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE ET SOLAIRE THERMIQUE

Le solaire photovoltaïque et le solaire thermique, sont deux technologies qui exploitent l'énergie solaire, de manière différente. Le solaire photovoltaïque, par l'intermédiaire de panneaux équipés de cellules semi-conductrices, transforme directement la lumière du soleil en électricité. Cette conversion s'effectue principalement grâce à des matériaux à base de silicium, permettant une production d'électricité propre et renouvelable, sans émissions de CO₂. La polyvalence du photovoltaïque est notable, avec des applications allant de petites installations résidentielles sur les toits à de vastes centrales solaires au sol, sans oublier l'intégration architecturale dans les bâtiments.

Le solaire thermique se concentre quant à lui sur la capture de la chaleur solaire pour le chauffage de l'eau ou d'autres fluides caloporteurs. Utilisant des panneaux ou des capteurs thermiques, cette technologie s'applique au chauffage domestique, à la production d'eau chaude sanitaire, et pour la production d'énergie via la cogénération.

Cette étude porte exclusivement sur le solaire photovoltaïque en se basant sur le rôle de cette source d'énergie pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de carbone et de diversification du mix énergétique.

Avec sa capacité à s'adapter à divers environnements et son potentiel de déploiement à grande échelle, le photovoltaïque incarne en effet une technologie clé dans le paysage énergétique actuel et futur. Il se distingue par sa flexibilité d'installation, allant de petits panneaux sur les toits résidentiels à de vastes centrales solaires au sol, et par sa capacité à être intégré dans les bâtiments (BIPV).



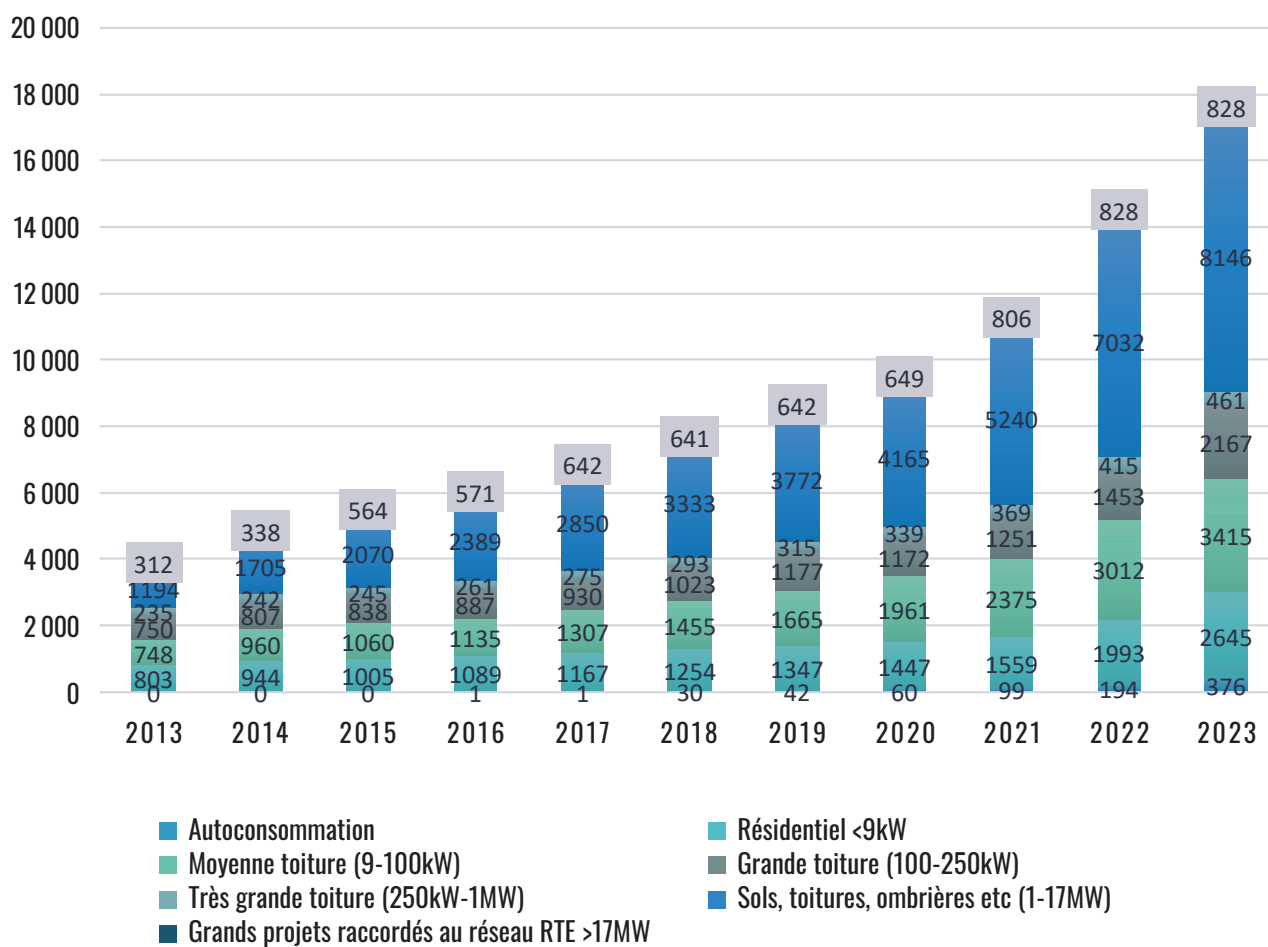


➔ ÉTAT DES LIEUX DU PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE

À fin 2023, la capacité totale des installations photovoltaïques raccordées

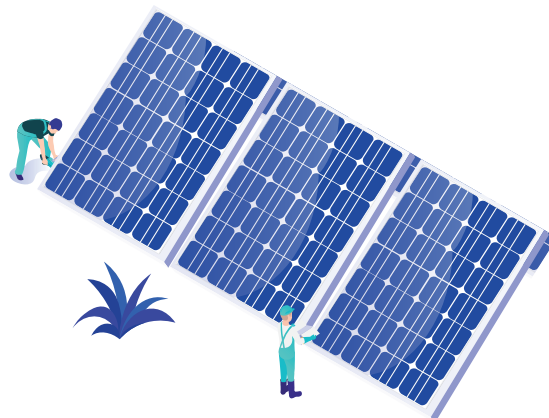
a atteint 19 200 MW, reflétant une croissance robuste de 125% au cours des cinq dernières années⁴.

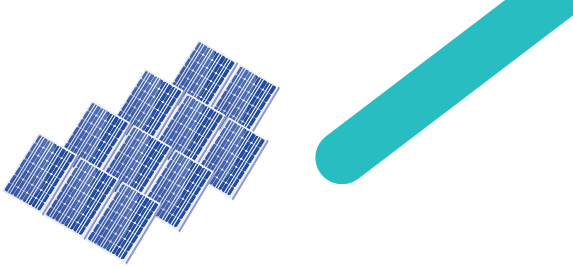
ÉVOLUTION DU PARC PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE (EN GW)



Source : [France territoire solaire à partir des données de RTE](#).

⁴ SDES, [Tableau de bord : solaire photovoltaïque](#)





En excluant les installations dédiées à l'autoconsommation sans injection, qui ont enregistré une croissance extrêmement forte (mais qui représentent moins de 2% des capacités totales), ce sont les installations sur toitures, sols et ombrières qui ont connu la plus forte croissance sur la dernière décennie, passant de 1194 MW en 2013 à 8146 MW en 2023. Elles sont suivies par les installations sur moyennes et grandes toitures, qui ont vu leur capacité s'accroître respectivement de 1,45 GW et 1 GW lors de ces 3 dernières années. Cette dynamique est largement attribuable à l'adoption la loi sur l'accélération des énergies renouvelables et de la loi Climat et Résilience qui encouragent ce type d'installation⁵.

Les régions Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Auvergne Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur sont en tête en termes de capacité installée, bénéficiant d'un ensoleillement favorable et d'initiatives locales soutenant le développement du photovoltaïque.

Ces quatre régions, couvrant un peu plus de 40% du territoire français, concentrent à elles seules 58% du nombre total d'installations photovoltaïques et représentent 65% de la capacité totale raccordée au réseau. Ceci met en lumière l'impact significatif des conditions géographiques et des initiatives locales sur la distribution de l'énergie solaire à travers le pays⁶.

LA FRANCE À LA TRAINÉ FACE À SES VOISINS EUROPÉENS

En matière de développement du photovoltaïque, la France est encore en retrait par rapport à certains de ses voisins européens. Selon le rapport annuel de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA)⁷, l'Allemagne se positionne en tête en Europe avec une capacité installée d'environ 67 GW en 2022, dominant largement le secteur avec des capacités deux à trois fois supérieures à celles de l'Italie et de l'Espagne, qui se placent respectivement à 25 et 20 GW. Comparativement, la France affichait une croissance annuelle moyenne de 13 % sur la décennie passée. Ce taux de croissance la situe derrière les Pays-Bas, qui, malgré leur taille et leur ensoleillement moindres, ont atteint

19 GW grâce à une croissance annuelle de 40 %. La Pologne se distingue comme le pays européen ayant la croissance la plus rapide, avec un taux annuel de 137 % depuis 2013, ayant presque triplé sa capacité entre 2020 et 2022. Cette situation de retard est notamment due au fait qu'au début de l'avènement du photovoltaïque, dans les années 1970, la France, bien que précurseur dans cette technologie, a fortement privilégié le développement du nucléaire, reléguant le photovoltaïque au second plan. Cependant, avec les nouveaux enjeux climatiques et la nécessité d'élaborer un mix énergétique intégrant davantage de sources renouvelables, la France se trouve dans une phase de rattrapage important pour aligner ses capacités photovoltaïques avec ses ambitions environnementales et énergétiques.

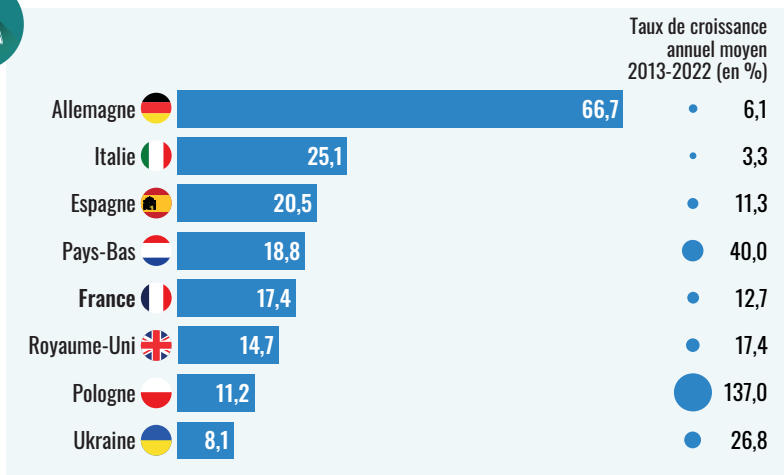
⁵ [Loi climat et résilience](#)

⁶ [Observ'ER Le Baromètre 2023 des énergies renouvelables électriques en France](#)

⁷ [IRENA \(2023\), Coûts de la production d'énergie renouvelable en 2022, Agence internationale pour les énergies renouvelables](#)



PAYS EUROPÉENS AVEC LA PLUS GRANDE CAPACITÉ TOTALE DE PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE EN 2022 (EN GW)



Source : Extrait de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA).

DISCOURS DE BELFORT : DE NOUVEAUX OBJECTIFS AMBITIEUX

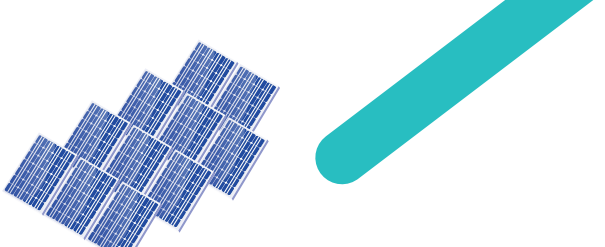
Le discours prononcé par le Président de la République à Belfort en février 2022 constitue une étape importante pour l'avenir du photovoltaïque en France. Il réitère les ambitions de l'Accord de Paris et souligne aussi spécifiquement l'engagement de la France à accélérer le développement et l'expansion du secteur photovoltaïque. Avec une vision forte, le but est d'établir la France comme un chef de file européen dans la production d'énergie solaire, tirant parti de ses avantages géographiques, technologiques, et industriels⁸.

Partant d'une capacité installée de 19 GW⁹, la France se projette vers l'avenir avec des cibles définies pour 2035, reflétant un consensus entre différents acteurs clés sur la voie à suivre. La Stratégie Gouvernementale de Planification de l'Énergie Photovoltaïque (SGPE) ambitionne un rythme d'installation entre 5 et 7 GW par an, tandis que le nouveau Programme Pluriannuel de l'Énergie (PPE) envisage une marge de progression allant de 75 à 100 GW. En parallèle, RTE, dans son scénario A, projette un objectif de 93 GW, démontrant ainsi la convergence et l'ampleur des efforts nationaux pour faire du photovoltaïque un pilier de la transition énergétique en France¹⁰.

⁸ Discours de Belfort du président de la République, « [Reprendre en main notre destin énergétique !](#) »

⁹ [PPE](#)

¹⁰ [Scénarios RTE](#)



→ GRANDES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES : LE NOUVEAU VISAGE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE FRANÇAISE

À l'heure actuelle, les installations photovoltaïques d'envergure, avec une capacité supérieure à 1 MW, représentent 50% de la production totale d'énergie solaire, une part en croissance ces dernières années. Cette tendance devrait encore s'accélérer à l'avenir, soutenue par les améliorations notables en termes d'efficacité opérationnelle et de rentabilité de ces grandes installations. Les projets photovoltaïques en file d'attente de raccordement illustrent cette tendance, avec 75% de la capacité additionnelle attendue émanant actuellement d'installations de plus de 1 MW¹¹.

Les futurs projets photovoltaïques privilégieront ainsi largement les installations de grande envergure, incarnées par les grandes toitures, des ombrières et des parcs solaires d'ampleur significative (minimum 1 hectare). Cette dynamique est en cohérence avec les prévisions établies par la Stratégie Gouvernementale de Planification de l'Énergie Photovoltaïque (SGPE), laquelle prévoit une répartition de la capacité photovoltaïque favorisant à hauteur de 65% les installations au sol et 25% pour les ombrières. Cela se traduit par une ambition de déployer plus de 3 GW annuellement pour les centrales au sol et environ 1,5 GW pour les installations d'ombrières, hypothèses retenues pour cette étude.

→ PERSPECTIVES À HORIZON 2035 : UNE COURSE CONTRE LA MONTRE POUR ATTEINDRE LES 85 GW

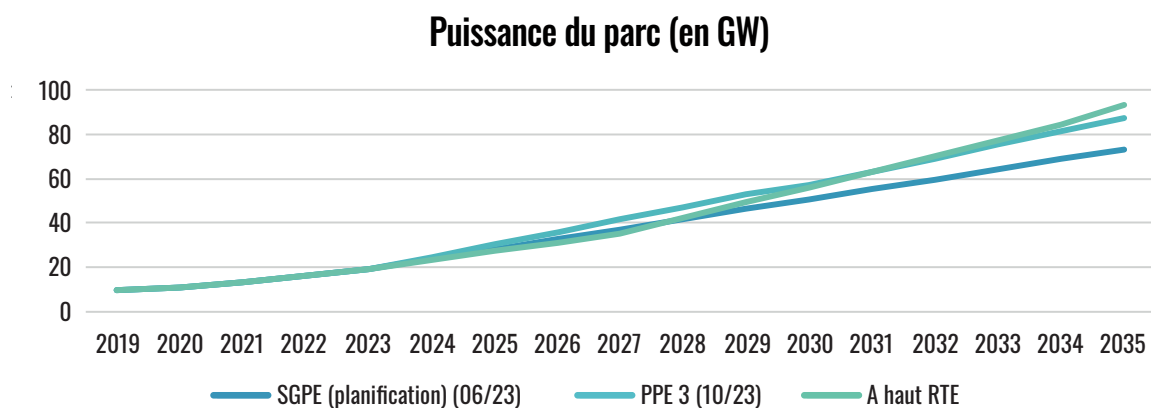
Malgré une croissance notable ces dernières années, la capacité installée du photovoltaïque reste encore inférieure aux attentes. En particulier, les objectifs pour 2023, tels que définis dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), ne sont pas atteints, avec une capacité photovoltaïque installée atteignant 19,2 GW au lieu

des 20,1 GW anticipés. Ce retard met en évidence la nécessité de redoubler d'effort pour atteindre les nouveaux objectifs fixés pour 2035. En prenant pour référence la moyenne des objectifs fixés par les trois principales projections, qui s'établit à 85 GW, le pays devra développer 67,8 GW de capacité additionnelle sur la période, c'est à dire adopter un rythme moyen d'installation d'environ 5,5 GW par an. Cela implique presque de doubler le rythme d'installation observé au cours des trois dernières années, qui était d'environ 3 GW par an.

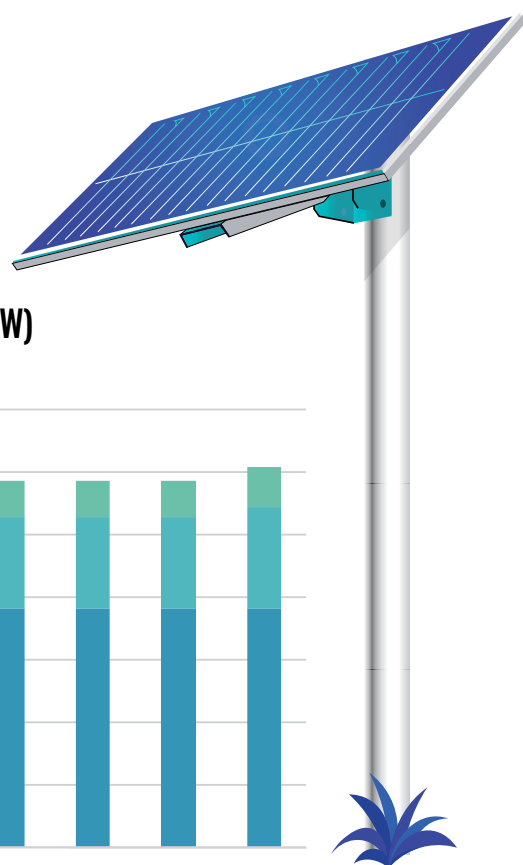
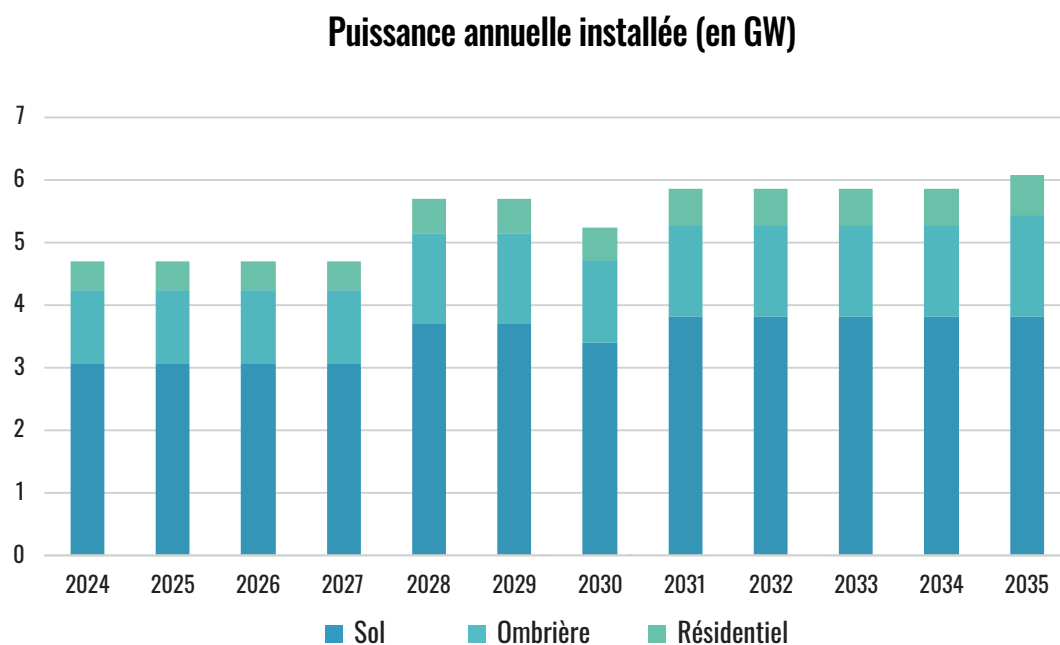
¹¹ SDES



PROJECTION DE CAPACITÉ PHOTOVOLTAÏQUE INSTALLÉE (EN GW) SELON 3 SCÉNARIOS À HORIZON 2035



HYPOTHÈSES DE RÉPARTITION DES CAPACITÉS INSTALLÉES (EN GW) À HORIZON 2035 PAR TYPE D'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE



Source : FNTF à partir de la répartition du SGPE

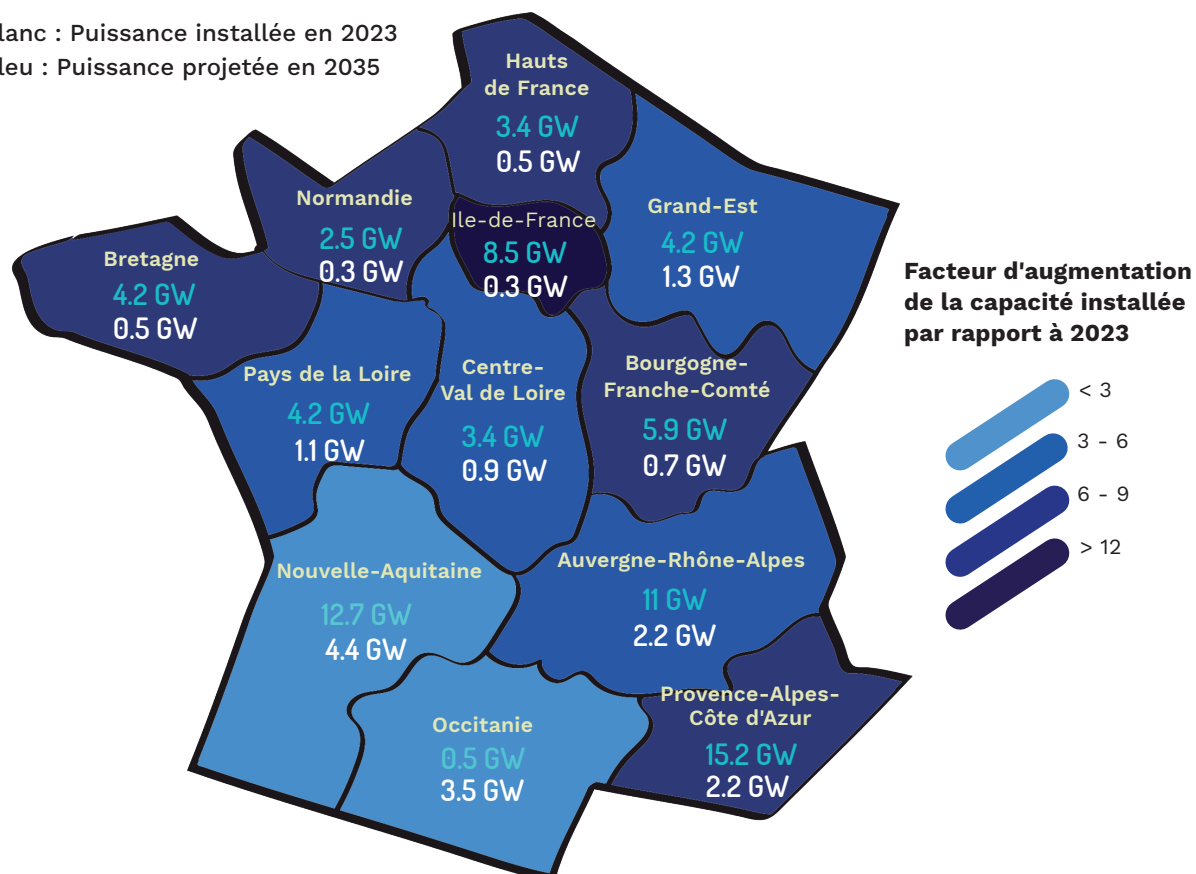
A partir des projections de RTE pour 2050 par région, une vision de la répartition géographique des capacités installées peut également être esquissée¹². Cette localisation de la production intègre une recherche d'optimisation économique : il s'agit de répartir les parcs de manière à maximiser le productible. Ainsi, la préférence est donnée aux zones présentant les facteurs de charge les plus élevés, soit les régions

avec le plus d'ensoleillement, et ce dans la limite des gisements théoriques identifiés. En adaptant cette répartition aux scénarios dont la puissance s'aligne sur les objectifs fixés, il apparaît que le développement des parcs photovoltaïques s'étendra sur l'ensemble du territoire français, avec des augmentations allant de trois à huit fois, et atteignant même jusqu'à vingt-cinq fois pour l'Île-de-France.

PROJECTION RÉGIONALE DU PHOTOVOLTAÏQUE EN 2035

En blanc : Puissance installée en 2023

En bleu : Puissance projetée en 2035



Source : SDES pour la puissance installée 2023, projections FNTP d'après scénarios RTE pour 2035

¹² RTE 2050



→ DES INVESTISSEMENTS MASSIFS À ANTICIPER

L'analyse des coûts qui suit, se concentre sur les centrales au sol et les ombrières. Ces catégories d'installations sont celles qui devraient se développer le plus, constituant 90% des expansions à venir. Une analyse plus détaillée des coûts, de leur répartition et du rôle des entreprises de Travaux Publics figure dans le chapitre suivant de l'étude.

Les coûts d'installation pour des ombrières de parking varient en fonction de leur capacité. Pour des installations de plus de 100 à 500 kWc, les coûts oscillent entre 1,1 et 1,3 € HT/Wc, tandis que pour celles de plus de 500 kWc, ils se situent entre 1,1 et 0,9 € HT/Wc. Ainsi, nous pouvons établir une moyenne de coût pour les ombrières à environ 1,1 € HT/Wc. Concernant les centrales au sol, les coûts varient de 0,8 à 1 € HT/Wc pour des installations entre 1 et 10 MW. Pour les installations de plus grande capacité, les coûts se situent entre 0,7 et 0,8 € HT/Wc. Dès lors, nous supposons que le coût moyen pour une centrale au sol est d'environ 0,85 € HT/Wc.

Hypothèses de projection :

- Une puissance installée lissée sur l'ensemble de la période : hypothèse de passer à 5,5 GW dès aujourd'hui et jusqu'à 2035 ;
- Une hypothèse de baisse de coût des équipements et de stabilité des coûts (en € constants) de l'installation et du raccordement (-1,3% par an sur les modules) ;
- En conclusion un coût unitaire des projets qui baisse mais avec une part plus forte d'installation raccordement par rapport aux équipements dans la structure de coûts.

En projetant les coûts sur le rythme d'installation requis pour atteindre les objectifs ambitieux de la France en matière d'énergie solaire, l'investissement annuel nécessaire peut être estimé à environ 4,7 milliards d'euros.

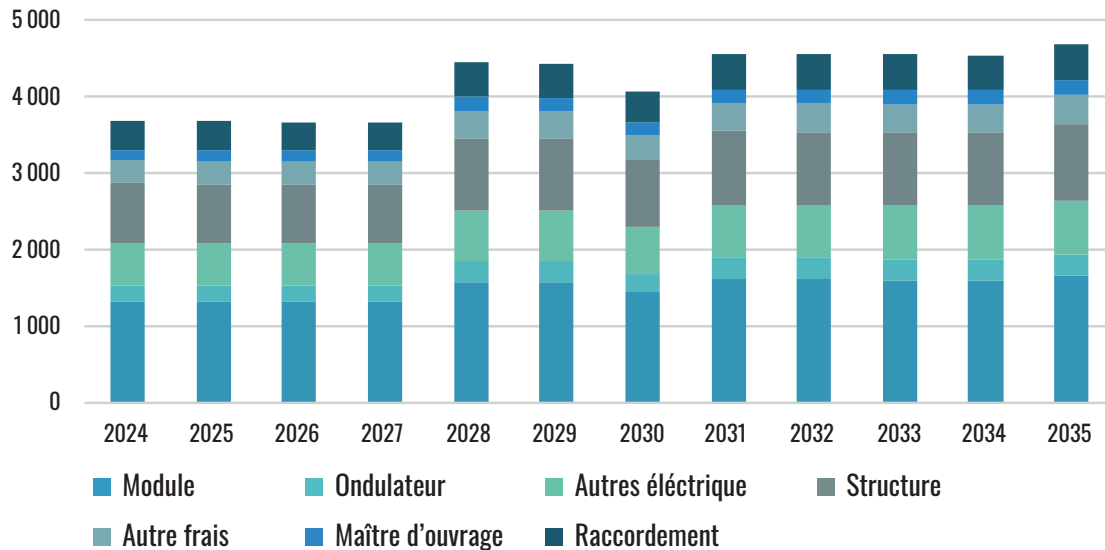
De ce montant, 14%¹³ peuvent être attribués au secteur des Travaux Publics, en prenant en considération à la fois les coûts de raccordement et ceux relatifs à la préparation du site. Cela représente un marché estimé entre 500 et 650 millions d'euros attribuable au secteur.



¹³ Photovoltaïque info, [connaître les coûts et évaluer la rentabilité](#)

PROJECTION ET RÉPARTITION DES INVESTISSEMENTS ANNUELS

Investissement annuel (en million €)



➔ À RETENIR

 85 GW Puissance du parc photovoltaïque d'ici 2035 (contre 19,2 GW en 2023)	 5,5 GW Rythme d'installation par an soit 67,8 GW à installer entre 2024/2035
 48 Md€ Investissement cumulé sur la période 2023-2035	 14% Part des investissements TP (~600 millions d'euros par an)

II. LES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS AU CŒUR DE L'AMÉNAGEMENT DES INFRASTRUCTURES PHOTOVOLTAÏQUES



Les entreprises de Travaux Publics jouent un rôle prépondérant dans le développement des centrales photovoltaïques, intervenant à plusieurs niveaux. Leur expertise couvre des domaines allant du terrassement pour niveler le terrain, la création de voies d'accès pour faciliter les opérations sur site, et les travaux électriques essentiels pour le raccordement des panneaux au réseau électrique.

L'aménagement initial du site est crucial pour garantir une installation optimale des panneaux photovoltaïques, nécessitant des compétences spécifiques en terrassement et voirie. Ces travaux préparent le terrain pour l'installation des structures porteuses des panneaux et assurent l'accessibilité nécessaire pour la maintenance et l'exploitation du parc.

Quant aux travaux électriques, ils représentent un aspect fondamental du processus, impliquant la pose de câblages souterrains, l'installation de transformateurs et la connexion au réseau électrique. Ces opérations demandent une haute spécialisation, compte tenu de la complexité technique et des normes de sécurité.

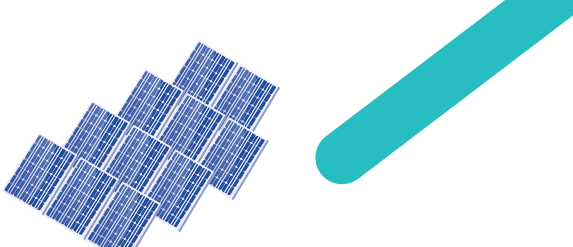
Au-delà de leur rôle traditionnel de constructeur, les entreprises de Travaux Publics peuvent également envisager le photovoltaïque sous l'angle de l'autoconsommation pour leurs propres besoins énergétiques, comme pour leurs sièges sociaux, ou même se positionner en tant qu'installateurs et exploitants de parcs photovoltaïques.

➔ DE LA PLANIFICATION AU DÉMANTÈLEMENT : LE CYCLE DE VIE D'UN PARC PHOTOVOLTAÏQUE

Le développement d'un parc photovoltaïque, de la planification à la réalisation, traverse plusieurs étapes cruciales. Pour les installations d'une capacité supérieure à 1 MW, le dépôt

du permis de construire constitue une première étape qui nécessite en moyenne environ 10 mois entre l'instruction et la délivrance. Cette période englobe l'enquête publique, l'instruction par les autorités, la délivrance du permis et le délai légal de recours contre la décision.

La phase de construction du parc s'étend ensuite sur 8 à 10 mois : elle comprend l'aménagement des accès, la préparation



des axes de chantier, l'enfouissement des câbles, la construction des fondations, l'assemblage des structures porteuses et le raccordement au réseau électrique.

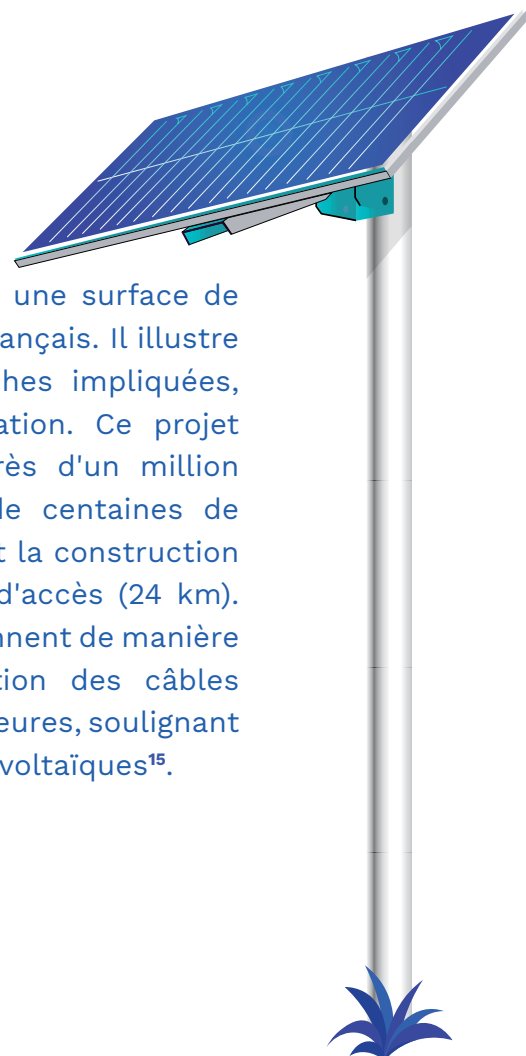
Des imprévus tels que les difficultés terrain, les obstacles administratifs ou les éventuels recours peuvent allonger ces durées.

L'exploitation d'une centrale photovoltaïque s'étend typiquement sur une période de 20 ans. Pour les terrains privés, il est fréquent de recourir à des baux emphytéotiques, permettant une occupation longue durée. En revanche, pour les sites appartenant à l'État ou aux collectivités, des autorisations d'occupation temporaire sont plus adaptées. La maintenance, incluant les aspects techniques et le fauchage sous les panneaux, est essentielle pour assurer le bon fonctionnement du parc¹⁴.

Finalement, le démantèlement, guidé par une démarche environnementale,

exige de remettre le site dans son état d'origine, incluant l'élimination et le recyclage des modules photovoltaïques, des structures en aluminium, des pieux en acier, des connectiques, et des câbles, ainsi que le démontage des installations électriques et la restauration du relief naturel.

Le remplacement des panneaux ou le démantèlement de parcs n'ont pas été intégrés dans les chiffrages de cette étude. Cet aspect n'aura toutefois qu'un assez peu d'impact pour le secteur des Travaux Publics car les opérations de remplacement des panneaux peuvent se réaliser sans altérer les infrastructures existantes. Le coût du démantèlement, ainsi que celui du remplacement des panneaux sont à la charge de l'exploitant, qui a la possibilité de moderniser le parc avec des technologies plus récentes et performantes, assurant ainsi la pérennité et l'efficacité de la production d'énergie solaire.



FOCUS

Le parc photovoltaïque de Cestas

D'une capacité de 305 MW, il s'étend sur une surface de 250 hectares et il est le plus grand parc français. Il illustre bien l'ampleur et la complexité des tâches impliquées, depuis la planification jusqu'à la réalisation. Ce projet a en effet nécessité l'installation de près d'un million de panneaux solaires, le déploiement de centaines de kilomètres de câbles enterrés (683 km), et la construction d'infrastructures électriques et de voies d'accès (24 km). Les entreprises de Travaux Publics interviennent de manière significative, notamment dans l'installation des câbles enterrés et la construction des pistes intérieures, soulignant leur rôle dans le succès des projets photovoltaïques¹⁵.

¹⁴ EcoDelta, [Les étapes d'un projet photovoltaïque](#)

¹⁵ Eiffage, [La centrale photovoltaïque de Cestas en chiffres](#)



Le défi réside non seulement dans la mise en place physique de ces installations mais également dans la gestion des ressources humaines qualifiées. La concurrence internationale pour les talents, notamment avec des pays voisins comme l'Allemagne et l'Espagne, qui affichent eux aussi des objectifs solaires ambitieux, soulève des questions sur la disponibilité

et l'attraction de la main d'œuvre spécialisée. De plus, l'essor du secteur photovoltaïque intensifie les besoins en formation spécialisée pour préparer les techniciens à installer, maintenir et optimiser ces systèmes complexes. Si la filière se développe Roland Lescure évalue à 60 000 emplois créés en France d'ici 2027.

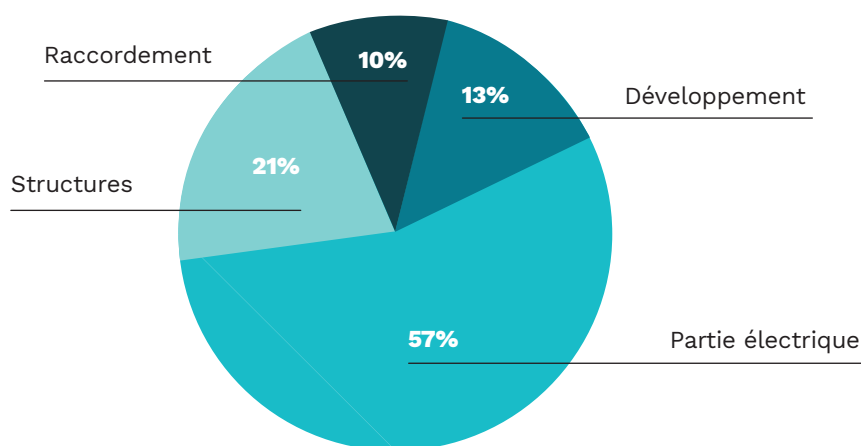
→ QUELLE RÉPARTITION DES INVESTISSEMENTS ET QUEL RÔLE POUR LES TP ?

Les taux attribuables aux entreprises TP se répartissent principalement entre les coûts de raccordement (en moyenne 10% de l'investissement) et ceux associés à la préparation du terrain et l'aménagement des voies

fluctuent (entre 3% et 6% selon les projets).

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) estime la répartition moyenne des coûts selon la figure ci-dessous. Une part significative est attribuable aux éléments électriques, notamment les modules photovoltaïques, qui représentent entre 29% et 44% du total¹⁶.

RÉPARTITION DES COÛTS DE CONSTRUCTION DU GRAND PHOTOVOLTAÏQUE EN FRANCE



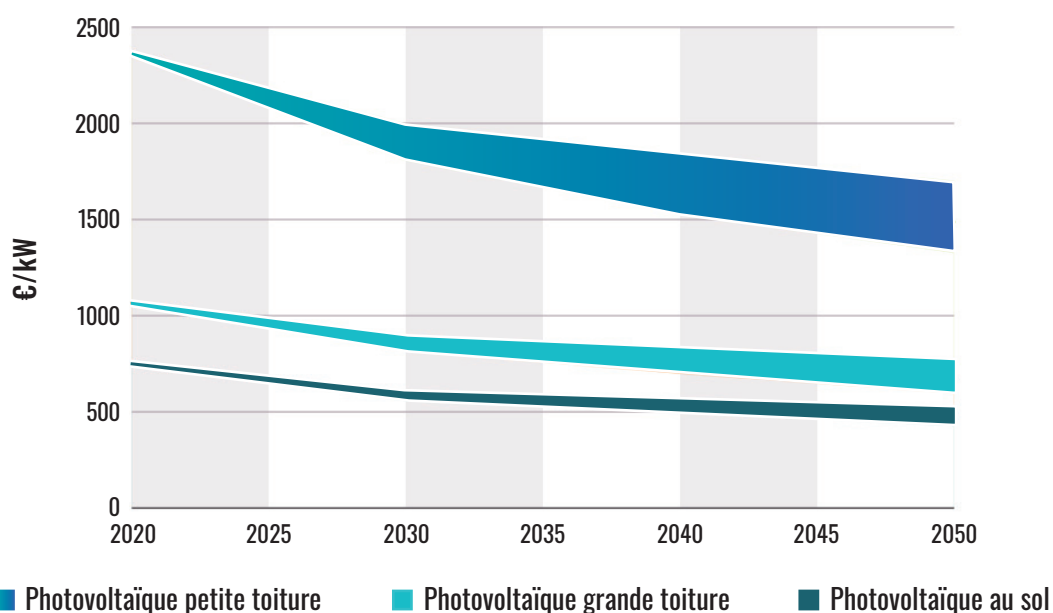
Source : CRE

¹⁶ CRE, [Coûts et rentabilités du grand photovoltaïque en métropole continentale](#)

Ces dernières années, le secteur a connu une réduction considérable des coûts, un phénomène attribuable à des avancées technologiques et à l'optimisation des processus de fabrication. Le coût des centrales photovoltaïques au sol, rapporté à l'énergie qu'elles produisent, a chuté de 85% à l'échelle mondiale entre 2010 et 2020¹⁷. Cette évolution est particulièrement marquée dans le cas des installations de grande taille, où les économies d'échelle jouent un rôle crucial.

Une réduction des coûts des modules photovoltaïques est encore probable au cours de la décennie. RTE l'estime de l'ordre de 30% d'ici à 2050, ce qui équivaldrait à une baisse moyenne annuelle de 1,33% lorsqu'elle est répartie de manière uniforme sur la période.

ÉVOLUTION DES COÛTS D'INVESTISSEMENT EN PHOTOVOLTAÏQUE À L'HORIZON 2050 (HORS RACCORDEMENT)



Source : Extrait de rapport RTE futur énergétique

¹⁷ Selon l'Agence Internationale pour les Énergies Renouvelables (IRENA)



Il est important de souligner que cette baisse des coûts est fortement influencée du fait d'importations en provenance de Chine, leader dans la production de panneaux solaires. Cette dépendance signifie donc que toute fluctuation dans les relations géopolitiques ou une décision de rapatrier la production de cette industrie en France ou en Europe pourrait avoir un impact significatif sur les coûts. En conséquence cette

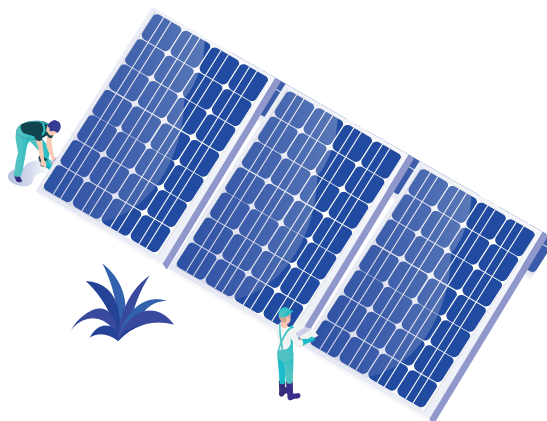
tendance à la réduction des coûts demeure sujette à des variables externes, notamment les décisions politiques et les dynamiques de marché globales.

Selon les projections, le photovoltaïque devrait toutefois figurer parmi les options les plus compétitives sur le marché des énergies renouvelables à l'horizon 2050.

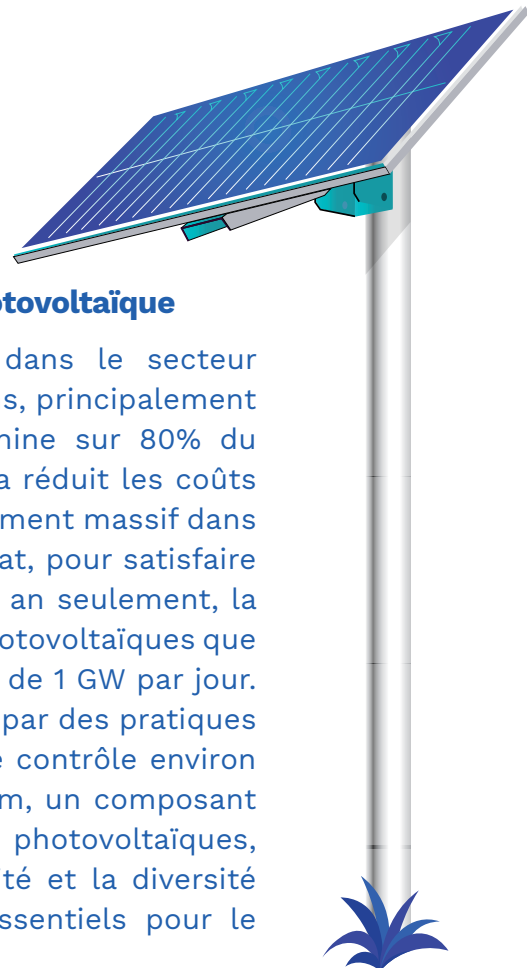
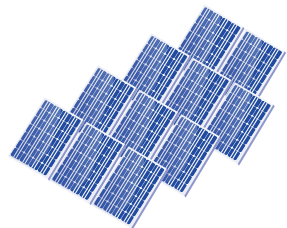
➔ PHOTOVOLTAÏQUE : SUR LA VOIE DE LA MATURITÉ ÉCONOMIQUE

Autrefois perçu comme l'une des options les plus onéreuses parmi les énergies renouvelables, le secteur photovoltaïque a connu une évolution économique remarquable. Actuellement, un consensus se dégage parmi les experts sur le fait que la technologie photovoltaïque a franchi un palier de maturité notable. Le rendement, soit la capacité des panneaux à transformer l'énergie solaire en électricité, s'équilibre autour de 20%¹⁸.

Selon les spécialistes, bien que l'efficacité actuelle des panneaux photovoltaïques reste stable, des avancées sont en vue avec le développement de nouvelles technologies susceptibles d'atteindre des rendements d'environ 25%. Cependant, ces panneaux plus performants ne devraient pas être disponibles sur le marché avant 2030. En attendant, l'innovation se concentrera principalement sur la réduction des coûts ainsi que sur l'amélioration de l'intégration et de la durabilité des systèmes existants.



¹⁸ Engie, Quel est le [rendement d'un panneau solaire](#) ?



FOCUS

Entre innovation et dépendance : Le poids de la Chine dans le secteur photovoltaïque

La réduction considérable des coûts dans le secteur photovoltaïque n'est pas sans implications, principalement en raison du contrôle exercé par la Chine sur 80% du marché. En l'espace de 15 ans, la Chine a réduit les coûts par un facteur de 15, grâce à un investissement massif dans cette technologie, subventionnée par l'État, pour satisfaire ses propres besoins énergétiques. En un an seulement, la Chine a ainsi installé plus de capacités photovoltaïques que l'Europe en 30 ans, atteignant un rythme de 1 GW par jour. Cette expansion est également soutenue par des pratiques de dumping agressives. De plus, la Chine contrôle environ 70% des ressources mondiales en silicium, un composant essentiel à la fabrication des cellules photovoltaïques, ce qui pose des questions sur la sécurité et la diversité de l'approvisionnement en matériaux essentiels pour le secteur.

En réponse à cette domination, l'Union européenne encourage la construction d'usines écologiques et a mis en place des normes sociales et environnementales strictes pour les appels d'offres, notamment avec l'implantation d'une usine solaire géante en Moselle, qui aura une capacité annuelle de 5 GWc.

La filière photovoltaïque européenne appelle également à la mise en place d'incitations, telles que des bonus pour l'utilisation de panneaux fabriqués dans l'UE. Ces incitations pourraient se baser sur l'Induscore, une mesure introduite dans le Pacte Vert européen pour évaluer de manière claire et objective le nombre d'étapes

industrielles réalisées en Europe pour les panneaux photovoltaïques. L'Induscore est conçu pour valoriser les étapes de production effectuées par les acteurs industriels en France, renforçant ainsi leur visibilité auprès des acheteurs finaux.

Ces mesures aideront à renforcer les acteurs industriels locaux et à faciliter l'émergence de nouvelles capacités de production à grande échelle, telles que les Gigafactories, en France. L'objectif fixé au niveau européen dans le Net Zero Industry Act est de produire localement 40% des panneaux photovoltaïques utilisés en Europe d'ici 2030¹⁹.

¹⁹ Ministère de l'économie, « [Annonce de nouvelles mesures de soutien au développement du photovoltaïque et de son industrie](#) »

III. DES ENJEUX FINANCIERS, RÉGLEMENTAIRES ET DE SURFACES



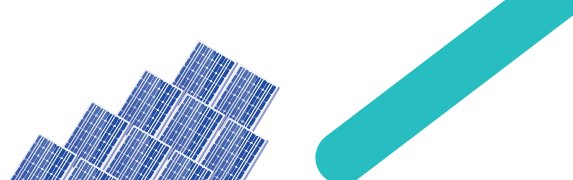
➔ DE MULTIPLES OUTILS DE FINANCEMENT

Le financement des parcs photovoltaïques en France mobilise un large éventail d'acteurs, des poids lourds de l'énergie tels que Engie, EDF, et Total Energies, aux acteurs spécialisés comme Voltalia et Neoen. Cette synergie d'investisseurs est essentielle pour dynamiser les initiatives solaires, bénéficiant d'un cadre d'attribution structuré par les appels d'offres de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE). Ce dispositif stimule l'innovation et la concurrence, tout en reposant principalement sur un tarif de rachat de l'électricité fixé par l'État, minimisant ainsi le recours aux aides directes pour encourager une production énergétique à la fois efficace et novatrice.

La diversité des sources de financement, incluant prêts bancaires, fonds d'investissement, subventions gouvernementales et financement participatif, souligne l'envergure des investissements nécessaires et l'engagement collectif pour une transition énergétique réussie. Les partenariats public-privé (PPP) témoignent de la complémentarité entre le secteur public et privé, en ligne avec les objectifs d'innovation, de compétitivité et de durabilité.

Les modèles de financement et d'exploitation des parcs photovoltaïques se diversifient, incluant :

- 1. Autoconsommation :** Ce modèle permet aux propriétaires de bâtiments (résidentiels, commerciaux ou industriels) d'utiliser directement l'électricité produite par leurs installations photovoltaïques, réduisant ainsi leur dépendance au réseau électrique et leurs coûts énergétiques.
- 2. Vente totale à un opérateur réseau :** Dans ce cas, toute l'électricité produite par la centrale photovoltaïque est vendue à un opérateur du réseau électrique, souvent à un tarif préférentiel ou via des contrats d'achat d'énergie à long terme. Cela offre une source de revenus stable pour l'exploitant de la centrale.
- 3. Autoconsommation avec vente du surplus :** Les propriétaires consomment l'électricité qu'ils produisent et vendent l'excédent non utilisé au réseau. Ce modèle permet de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire tout en bénéficiant d'un revenu supplémentaire pour l'énergie excédentaire.



4. Centrales photovoltaïques communautaires ou partagées :

Ce modèle permet à plusieurs parties (ménages, entreprises) de partager les coûts et les bénéfices d'une centrale photovoltaïque. Cela est particulièrement utile pour les personnes ou entreprises ne disposant pas d'un espace adéquat pour installer des panneaux solaires.

5. Centrales photovoltaïques en toiture à loyer :

Les propriétaires d'immeubles louent leur toiture à un opérateur ou à une entreprise spécialisée dans le solaire, qui installe et exploite une centrale photovoltaïque. Le propriétaire peut bénéficier de l'électricité générée à un tarif réduit ou recevoir un loyer pour l'utilisation de l'espace.

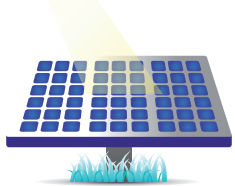
6. Projets d'agrégation :

Ce modèle implique la combinaison de plusieurs petites et moyennes installations photovoltaïques pour agir comme une seule entité plus importante. Cela peut permettre une meilleure négociation des tarifs de vente de l'électricité et réduire les coûts opérationnels.

7. Projets financés par des tiers :

une entité externe (qui peut être une entreprise privée dans le cas d'une concession) finance l'installation et l'exploitation de la centrale photovoltaïque. L'hôte (qui peut être un organisme public dans le cas d'une concession) bénéficie de l'électricité produite, souvent à un coût réduit, sans avoir à investir dans le coût initial de l'installation. Les arrangements peuvent inclure des contrats de location, d'achat d'énergie (PPA - Power Purchase Agreement), ou de concession où le financement, la construction, l'opération, et la maintenance sont pris en charge par le tiers, avec différents degrés de transfert de propriété à la fin du contrat.





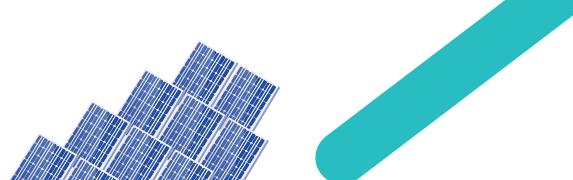
RÉGLEMENTATION ET INCITATIONS OU COMMENT ACCÉLÉRER ET RELOCALISER UNE FILIÈRE

En France, la réglementation encadrant l'installation des centrales photovoltaïques vise à promouvoir le développement de l'énergie solaire tout en protégeant l'environnement et la sécurité publique. Pour stimuler l'adoption du solaire, des mesures d'assouplissement réglementaire ont été mises en place. Notamment, le seuil pour l'obligation de permis de construire a été relevé de 250 kW à 1000 kW pour les projets de taille intermédiaire, simplifiant les démarches administratives. De plus, des incitations financières, telles que les tarifs d'achat garantis et les appels d'offres, favorisent les investissements dans le secteur. Ces dernières années, le gouvernement a également assoupli les barrières légales qui pouvaient freiner la mise en place de parcs solaires, en limitant par exemple les recours juridiques. Des lois telles que la loi Climat et Résilience de 2021 et la loi APER²⁰ de 2023 renforcent les obligations d'intégration des procédures liées aux énergies renouvelables et de végétalisation de certains bâtiments et aires de stationnement.

Ces réglementations imposent notamment l'installation d'ombrières photovoltaïques sur les nouveaux parkings excédant 500 m² et promeuvent l'utilisation de terrains non exploités, tels que ceux bordant les autoroutes, pour la production solaire. Ces lois fixent des objectifs précis, tels que l'obligation de couvrir au moins 50% des surfaces de parking et toitures avec des installations photovoltaïques d'ici 2027. Pour les parkings de plus de 10 000 m², la mise en conformité doit être réalisée avant 2026, tandis que ceux de plus de 1 500 m² ont jusqu'à 2028 pour se conformer.

En outre, la viabilité économique de ces projets dépend encore des aides publiques, rendant l'équation financière assez fragile, en particulier dans un contexte où les prix de l'électricité pourraient rester bas. À titre d'exemple, certains acteurs, comme la filière des hypermarchés, tentent actuellement de ralentir l'application du décret relatif à l'installation d'ombrières sur les parkings. Ces entreprises soulignent les défis économiques associés à de telles obligations réglementaires, mettant en lumière le besoin potentiel de revoir les incitations financières pour assurer une transition énergétique efficace et économiquement soutenable.

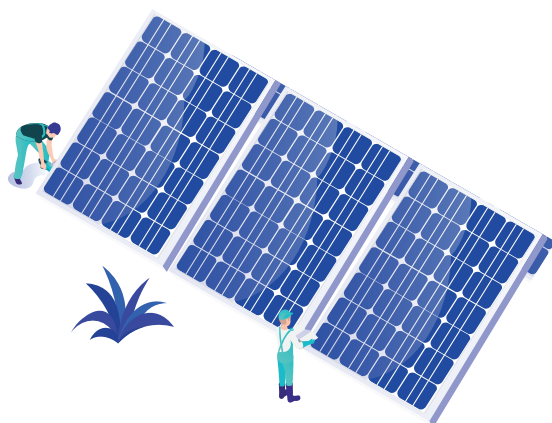
²⁰ [LOI n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables](#)



➔ AMÉNAGEMENT ET PHOTOVOLTAÏQUE : LE DÉFI DE L'ESPACE

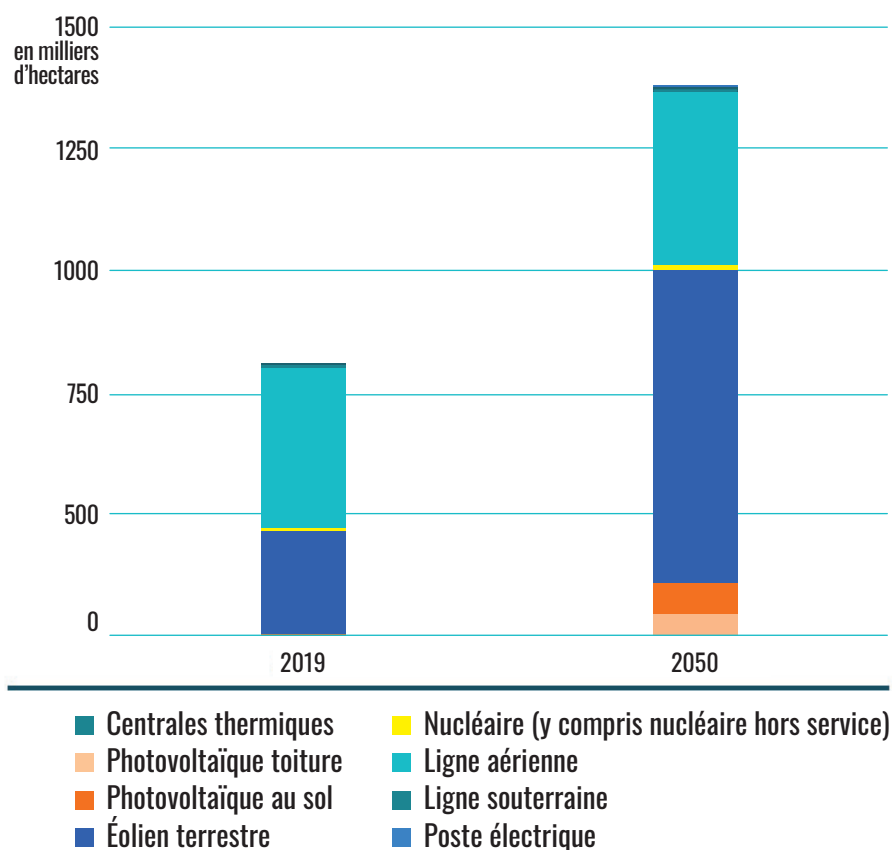
En 2019, la combinaison des installations photovoltaïques au sol et sur toiture occupait 12 000 hectares. D'après le scénario N2 de RTE, prévoyant une capacité solaire de 90 GW, qui s'aligne avec les projections de cette étude, l'étendue requise pour ces installations connaîtra une croissance exponentielle pour atteindre environ 113 000 hectares, sol et toiture inclus. Cette augmentation représenterait une multiplication par dix de l'espace utilisé en 2019, tout en demeurant significativement moindre que l'espace requis pour l'éolien terrestre. 1 GW de production solaire exige en effet environ 1 256 hectares, tandis que la même capacité en éolien terrestre occupe 12 385 hectares, soit un rapport de 1 à 10 entre ces deux types d'énergies renouvelables.

Cette expansion appelle à une réflexion approfondie sur les implications de l'utilisation des terrains pour le photovoltaïque, notamment en termes d'impact sur la biodiversité et de concurrence avec d'autres usages des sols. De plus, les tensions autour de l'utilisation du foncier sont susceptibles de devenir un enjeu majeur, particulièrement à mesure que les centrales photovoltaïques au sol gagnent en visibilité et en importance. Ces installations pourraient devenir des cibles privilégiées pour l'activisme environnemental, exacerbant les débats sur l'utilisation appropriée des terres. La conciliation entre le développement énergétique renouvelable et la conservation des écosystèmes naturels et agricoles reste donc un défi critique.





Surface nécessaire estimée par type d'infrastructure énergétique en 2019 et à l'horizon 2050



Source : Extrait du rapport RTE futur énergétique

Malgré les inquiétudes légitimes quant à l'artificialisation et à l'imperméabilisation des sols, l'impact de ces installations devrait rester modéré. Actuellement, la réglementation encourage l'implantation des parcs photovoltaïques au sol sur des zones préalablement artificialisées, telles que les friches industrielles ou les anciennes décharges, dans le but de limiter les répercussions sur la biodiversité. Néanmoins, cette approche se heurte encore à certaines limites, notamment en lien avec des obstacles liés à la dépollution des sites et à la concurrence pour leur accès.

D'autre part, même lorsque les installations se déploient dans des espaces naturels, l'effet d'artificialisation reste généralement modeste. Les structures sont ancrées au sol via des pieux sans nécessiter de fondations massives, et l'espace sous les panneaux est souvent laissé à l'état naturel, permettant une utilisation plus flexible du terrain. En outre, conformément à l'article 194 de la loi Climat et Résilience, les installations photovoltaïques ne seront pas comptées dans les espaces soumis à l'objectif de Zéro Artificialisation Nette à condition qu'elles respectent

certaines conditions : la réversibilité de l'installation et le maintien d'un couvert végétal correspondant à la nature du sol. La prise en compte des implications

environnementales de l'utilisation des terrains pour le photovoltaïque a conduit à la diversification des infrastructures.

QUATRE TYPES D'INSTALLATIONS

Type d'installation	Enjeux	Atouts	Limites	Potentiel
Agrivoltaïsme	Intégrer la production d'électricité solaire dans les activités agricoles.	Amélioration agronomique, adaptation au changement climatique, protection contre les aléas, bien-être animal.	Densité des installations et impact sur les rendements agricoles limités à une perte de 10%.	60 à 80 GW sur des milliers d'exploitations d'ici 2050.
Centrales au sol	Minimiser l'impact environnemental tout en déployant à grande échelle.	Capacité de production énergétique significative, facilité d'installation sur de vastes zones, exploitation de zones délaissées telles que friches, carrières, et le long des routes.	Nécessité d'une étude attentive pour la biodiversité sous et autour des panneaux.	Potentiel de gisement inexploité estimé à 775 GW.
Ombrières et toitures	Exploiter les étendues de parkings et de toitures pour la production d'énergie solaire.	Solution efficace pour l'utilisation des surfaces existantes sans consommer de terres supplémentaires.	Contraintes techniques ou patrimoniales pouvant limiter l'installation.	6,75 à 11,25 GW pour les ombrières et 350 GW pour les toitures, d'ici 2028 selon l'ADEME.
Photovoltaïque sur lac	Utiliser des plans d'eau pour l'installation de panneaux solaires, réduisant l'évaporation et impactant la biodiversité.	Réduit significativement l'évaporation de l'eau, bénéficie d'un refroidissement naturel augmentant le rendement.	Dépendance à la disponibilité de l'eau et potentielle risques pour la biodiversité aquatique.	Capacité potentielle de 10 gigawatts, équivalent à la production de dix centrales nucléaires.

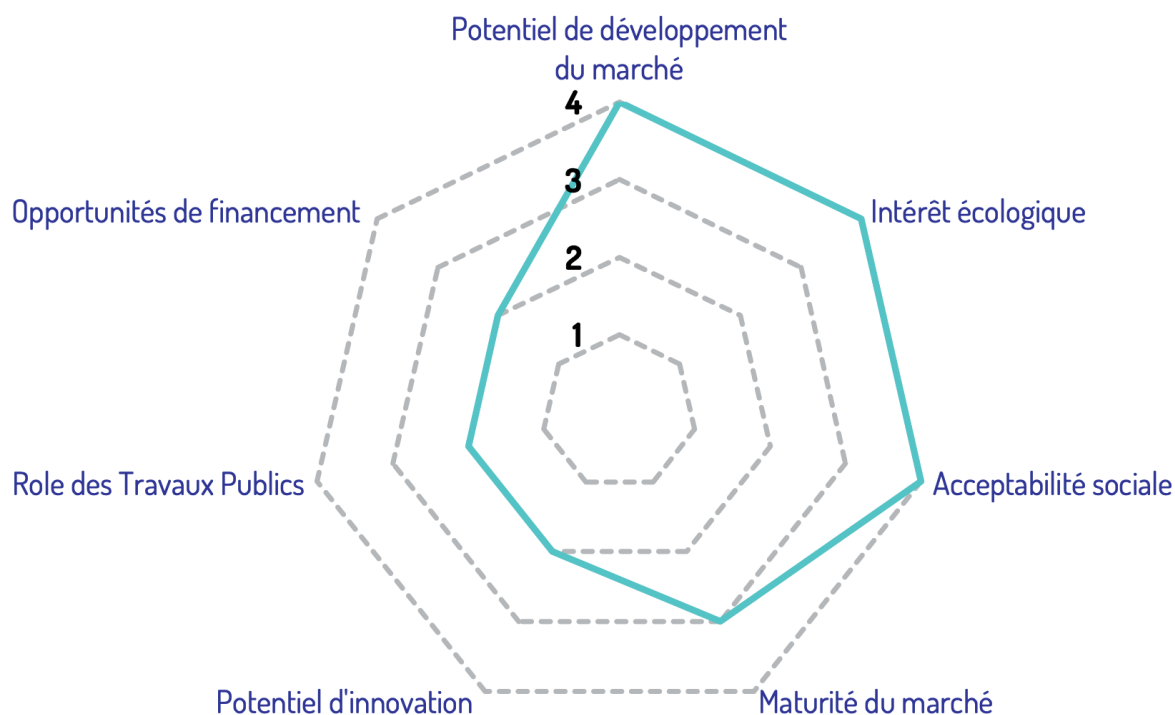


CE QU'IL FAUT RETENIR

- ➔ Le photovoltaïque s'impose comme un élément clé de la transition énergétique en France, visant à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à atteindre les objectifs de neutralité carbone. Actuellement, il représente une petite fraction de la consommation d'énergie primaire France. En revanche, son essor dans la production électrique est notable depuis plusieurs années et c'est une énergie fortement plébiscitée par les citoyens.
- ➔ La France a fixé des objectifs ambitieux pour le développement du photovoltaïque, visant à augmenter sa capacité installée à 75-100 GW d'ici 2035. Ces objectifs nécessitent une accélération significative du rythme d'installation autour de 5,5 GW par an pour compenser le retard pris et pour répondre à la demande croissante d'énergie propre.
- ➔ Le photovoltaïque offre une solution transitionnelle stratégique en attendant la mise en service de nouvelles capacités nucléaires, mettant en lumière son rôle crucial dans le mix énergétique français pour une période intermédiaire. Cette approche permettra à la France de continuer à progresser vers ses objectifs de décarbonation tout en développant son infrastructure énergétique future.
- ➔ Les grandes installations photovoltaïques joueront un rôle prédominant dans l'avenir de l'énergie solaire en France, avec une prévision de répartition favorisant majoritairement les installations au sol et les ombrières. Cette évolution nécessite une optimisation de la localisation des parcs pour maximiser le rendement, en privilégiant les zones avec un ensoleillement optimal.
- ➔ Les investissements nécessaires au déploiement du photovoltaïque représentent une opportunité significative pour le secteur des travaux publics, avec des estimations d'investissement annuel maximal de 4,7 milliards d'euros, dont entre 500 et 650 millions d'euros sont directement imputables aux activités de Travaux Publics.
- ➔ L'évolution du coût des installations photovoltaïques indique une réduction significative, rendant cette technologie de plus en plus accessible. Toutefois, la dépendance vis-à-vis de la production chinoise pose des défis, soulignant la nécessité d'une stratégie diversifiée pour l'approvisionnement en composants.
- ➔ Le financement des projets photovoltaïques en France s'appuie sur une diversité d'acteurs et de mécanismes financiers, reflétant l'ampleur des investissements requis et l'engagement en faveur de la transition énergétique. Les modèles de financement et d'exploitation se diversifient, offrant une variété d'options pour le développement de nouvelles capacités solaires.
- ➔ Les enjeux réglementaires et d'aménagement liés à l'expansion du photovoltaïque comprennent l'assouplissement des contraintes légales et la gestion efficace de l'utilisation des terrains, avec une attention particulière portée à l'impact environnemental et à la conservation de la biodiversité.

S.W.O.T

FORCES	FAIBLESSES
✓ Durabilité (40 ans) ✓ Flexibilité d'installation ✓ Technologie mature ✓ Faible impact environnemental de l'exploitation	✗ Utilisation de l'espace ✗ Intermittence (fonctionne uniquement de jour) ✗ Empreinte carbone importante des panneaux
OPPORTUNITÉS	MENACES
✓ Baisse continue du coût des modules ✓ Soutien politique et réglementation favorables ✓ Bonne acceptation par la population (pour l'instant) ✓ Volonté de créer une filière européenne autour de la technologie	✗ Dépendance des aides pour le marché de l'autoconsommation ✗ Dépendance vis-à-vis de la Chine (panneaux et silicium) ✗ Risques de fuite des talents vers des marchés plus dynamiques à l'étranger





LE MAR CHE_{DU} PHOTOVOLTAÏQUE



**ACTEURS
POUR LA PLANÈTE**

LES TRAVAUX PUBLICS