

DÉPLOYER L'ÉOLIEN ET LE PHOTOVOLTAÏQUE

ÉNERGIE

DANS LE CADRE DE NOTRE
PLAN ROBUSTE POUR L'ÉCONOMIE FRANÇAISE



Il faut développer l'éolien terrestre, l'éolien en mer, et le photovoltaïque

Les **énergies renouvelables (EnR) électriques** jouent, aujourd'hui déjà, un rôle significatif dans le mix électrique français. En 2025, l'éolien a représenté plus de 9 % de l'électricité produite en France, et le solaire photovoltaïque (PV) plus de 6 % [289]. Ces énergies sont en progression rapide : en 2014 elles ne pesaient que 4 % de la production à elles deux, et en 2004 elles étaient inexistantes [290]. Aujourd'hui, ce rythme de déploiement atteint des records dans le photovoltaïque, mais tend à ralentir dans l'éolien. Or il est crucial de maintenir un rythme d'installation soutenu pour ces différentes filières. En effet, **la décarbonation de notre économie passera largement par l'électrification des usages, ce qui nécessitera des quantités additionnelles très importantes d'électricité bas-carbone** (environ un tiers de hausse d'ici à 2050 selon la SNBC2, encore davantage en cas de forte réindustrialisation)³³⁷. Le nouveau nucléaire pourra certes y pourvoir en partie, mais les premiers EPR2 n'entreront pas en service avant 2038 [289], avec les risques de retard inhérents à tout programme industriel de cette envergure³³⁸. Pour assurer, dans l'intervalle et au-delà, cette grande électrification des usages, **une forte croissance de la capacité de production renouvelable est nécessaire**. Lire la deuxième partie de ce rapport pour plus de détails sur le bouclage électrique d'ensemble.

L'hydroélectricité continuera de jouer un rôle majeur, mais ses perspectives de déploiement sont limitées, la plupart des sites français intéressants étant déjà occupés. Les centrales électriques biogaz pourront jouer un rôle d'équilibrage du réseau, mais la disponibilité limitée en biogaz ne permettra pas leur usage massif³³⁹. D'autres technologies, telles que les hydroliennes, sont intéressantes mais trop peu matures pour jouer un rôle significatif à l'horizon 2050. **La forte augmentation nécessaire de production électrique renouvelable des 25 années à venir s'appuiera essentiellement sur 3 filières : l'éolien terrestre, l'éolien en mer, et le solaire photovoltaïque (PV)**. À quelles conditions pourra-t-on déployer fortement et rapidement ces 3 filières en France ? Pour y répondre, nous devons expliciter les étapes du développement d'un parc éolien ou PV et les acteurs qu'elles font intervenir, avant d'évoquer les filières dans leur ensemble et les enjeux et blocages auxquels elles font face.

Le développement d'un parc éolien ou solaire implique de nombreux acteurs

L'entreprise pilotant le développement d'ensemble d'un parc éolien ou solaire est un **développeur**. Il peut s'agir de gros énergéticiens (EDF, Total Energies, ENGIE) ou d'entreprises spécialisées, de taille variable. Pour pouvoir installer son parc à l'endroit souhaité, le développeur doit obtenir l'autorisation des **services instructeurs** de l'administration territoriale : DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et/ou DDT (Direction Départementale des Territoires). Pour ce faire, un dossier complet doit être fourni, justifiant de la recevabilité des impacts en termes

³³⁷ Voir notamment nos chantiers voiture électrique, poids-lourds électriques, pompes à chaleur, acier bas-carbone et hydrogène vert.

³³⁸ Voir Chantier n°17 : Prolonger le nucléaire historique, lancer le nouveau nucléaire

³³⁹ Voir Chantier n°18 : Déployer les bioénergies de manière soutenable

de biodiversité, de paysage, de patrimoine ou encore de ressource en eau. Pour l'éolien, le développeur doit en outre obtenir un avis favorable de **l'armée** via la DIRCAM (Direction de la Circulation Aérienne Militaire) concernant l'acceptabilité de son projet au regard des contraintes radar et de navigation aérienne. Une consultation publique est également réalisée dans certains cas, permettant un dialogue entre les tiers intéressés et les développeurs. Le **préfet** se base notamment sur ces différents éléments pour autoriser ou non la création du parc. Cette décision préfectorale peut toutefois faire l'objet de recours de la part de tiers considérant que la procédure comporte des irrégularités. Ceux-ci forment alors un recours devant la **justice administrative**, parfois jusqu'au Conseil d'Etat. Ces recours doivent avoir été purgés pour que le parc puisse entrer en service.

Le chantier est confié à une **entreprise générale de construction**, souvent multi-corps de métiers, capable d'intégrer l'ensemble des compétences nécessaires ou d'organiser la sous-traitance par lots spécialisés – terrassements, fondations, structures, installations électriques, moyenne tension, etc. Il peut s'agir de grands groupes de construction (Eiffage, Bouygues, Vinci), mais aussi d'entreprises spécialisées de taille intermédiaire, selon la taille et la complexité du projet.

Les éoliennes ou les panneaux solaires installés sur le site sont achetés par le développeur auprès de **fabricants** industriels. Dans l'éolien, ces fabricants sont majoritairement européens : Vestas, Siemens Gamesa, Nordex ou encore Enercon. Dans le solaire photovoltaïque, la fabrication des modules est aujourd'hui largement dominée par des acteurs asiatiques, notamment chinois : Longi, Trina Solar, Jinko Solar, etc.

En parallèle de la construction, il faut prévoir le raccordement au **réseau électrique** de transport de **RTE** ou de distribution d'**ENEDIS** (ou autre entreprise locale de distribution), suivant sa puissance et son emplacement. Le parc éolien ou solaire peut alors produire son électricité bas-carbone à destination des **consommateurs** en l'injectant sur le réseau. L'entreprise qui exploite le parc pendant toute sa durée de vie est appelée **l'exploitant**. Il peut s'agir du développeur lui-même, ou d'une autre entreprise à laquelle le développeur aurait vendu le parc réalisé.

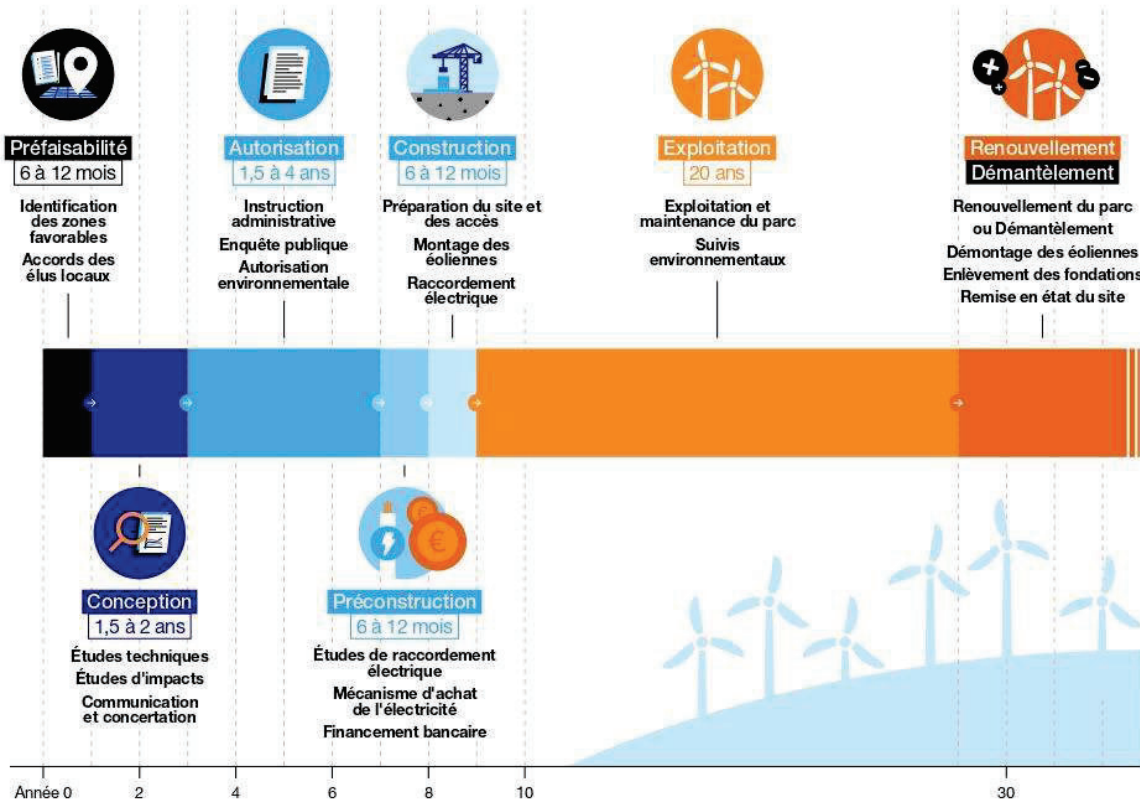


Figure 9 : Etapes du développement d'un parc éolien terrestre – The Shift Project

Notons que **tout ceci vaut surtout pour des parcs éoliens ou des centrales solaires au sol**. Toutefois, pour le PV, 65 % de la capacité raccordée en 2025 relève du segment dit S21, des installations **sur toitures et ombrières** d'une puissance inférieure à 500 kWc. Dans leurs cas, les autorisations sont plus simples à obtenir, le processus de développement est plus court, et il n'y a généralement pas de recours.

Le déploiement des filières éoliennes et solaires est confronté à différents goulots d'étranglement

Ce qui précède met en lumière les éléments à aligner pour un déploiement rapide et pérenne des filières éoliennes et solaires. Il faut du foncier en quantité suffisante, que l'utilisation de celui-ci soit acceptable sur le plan des impacts, que l'administration territoriale valide cela, que le projet soit compatible avec les aspirations des riverains, que les tribunaux puissent traiter rapidement les recours, que les travaux aient lieu, que les fabricants puissent produire au bon rythme les éoliennes et les panneaux solaires nécessaires, et enfin que le gestionnaire de réseau puisse raccorder le parc. Chacune de ces étapes nécessite du temps et des moyens techniques et humains. Certains maillons de cette chaîne bloquent-ils aujourd'hui ou risqueront-ils de bloquer à l'avenir ? C'est ce que nous allons voir à présent.

Le foncier est abondant dans l'absolu, mais fortement contraint et se raréfie rapidement

Sur le foncier il n'y a pas de grosse limitation dans l'absolu. Nous avons aujourd'hui 10 000 éoliennes en France et il faudrait en installer un total d'environ 20 à 30 000 au (grand) maximum – dans un scénario « extrême » 100 % EnR à 2050, et sans augmentation significative de la puissance des éoliennes ; or c'est ce qui est déjà installé en Allemagne aujourd'hui, pour une superficie moindre et une population plus importante [19]. Sur le PV, 0,3 % du territoire français suffirait à déployer tous les panneaux solaires requis à l'horizon 2050 [19]. Notons aussi que seul le PV au sol requiert du foncier dédié, pas celui sur toitures et ombrières.

Cela étant, le foncier concrètement exploitable pour les développeurs se raréfie rapidement. Les premiers parcs éoliens ont historiquement été installés dans les zones les moins contraintes, mais les nouveaux parcs sont confrontés à des enjeux croissants de saturation paysagère, de patrimoine, de biodiversité ou encore de couverture radar ou de circulation aérienne. Cette réalité est hétérogène : dans certains territoires les superficies restantes sont abondantes, le blocage étant plutôt politique.

Les contraintes liées à la couverture radar et à la navigation aérienne, civile comme militaire, sont particulièrement dimensionnantes pour la filière éolienne terrestre ; elles reviennent aujourd'hui à interdire *de facto* l'éolien terrestre sur la majorité du territoire français. Un arbitrage est ici nécessaire pour concilier au mieux ces deux problématiques majeures, défense et décarbonation, dans le respect mutuel.

Pour le PV, la réglementation actuelle implique de prioriser les surfaces déjà artificialisées : friches industrielles, anciennes carrières ou anciennes bases militaires, notamment – des gisements de foncier limités et convoités par de nombreux projets immobiliers, commerciaux ou industriels, dans le cadre de la loi ZAN (Zéro Artificialisation Nette). Ainsi, le développement de grandes centrales solaires au sol commence à devenir difficile, alors même que ces installations sont les plus intéressantes sur le plan économique, du fait des économies d'échelle qu'elles permettent.

Il faut remédier à cette situation en intégrant, dans la planification territoriale, des zones dédiées au développement des parcs éoliens et solaires, limitées mais garanties. Ces moyens de production électriques sont essentiels pour atteindre nos objectifs climatiques et renforcer notre souveraineté énergétique, ils doivent être explicitement priorités par rapport à d'autres types de construction.

En parallèle, le « repowering » permet d'augmenter fortement la puissance des parcs éoliens existants en remplaçant les éoliennes en fin de vie par des modèles plus récents et plus puissants : nous pourrions ainsi tripler la production hexagonale uniquement en passant de 10 000 à 15 000 mâts, à condition d'augmenter la hauteur « bout de pale ». Cependant, un repowering peut aujourd'hui nécessiter une procédure aussi lourde que le développement d'un nouveau parc : **il faut simplifier la procédure relative au repowering³⁴⁰. Il faut aussi faciliter l'installation d'éoliennes plus hautes et plus puissantes**, la puissance moyenne

³⁴⁰ Une nouvelle circulaire a été publiée en septembre 2025 [446] qui vise à clarifier les notions de modification substantielle ou modification notable lors d'un repowering qui impose soit le recours à une nouvelle autorisation environnementale soit un simple porté à connaissance.

des éoliennes aujourd'hui installées en France (environ 2,8 MW) étant basse par rapport à celle de nos voisins (entre 4 et 5 MW) [291].

De même, **l'agrivoltaïsme permet de relâcher la contrainte foncière, en installant des panneaux solaires sur des terres agricoles**, tout en apportant un ou plusieurs services à la production nourricière. Cela est particulièrement intéressant pour les exploitations menacées par le dérèglement climatique, certaines vignes ou certains pâturages du sud de la France par exemple : les panneaux apportent de l'ombre et une protection face à la grêle et au gel, ainsi qu'un complément de revenus. **Les quantités totales concrètement installables au niveau français restent à préciser, mais le gisement potentiel est très important**, même en se cantonnant aux terres de faible valeur agronomique : une fraction de pourcentage de la SAU (Superficie Agricole Utilisée) suffirait à installer plusieurs dizaines de GW, voire davantage.

Sur l'éolien en mer, on déploie principalement à ce jour de **l'éolien posé**, installé directement sur le fond marin, jusqu'à une profondeur d'environ 50 à 60 mètres. Cependant, sur certains littoraux – méditerranéens notamment – la profondeur du fond marin augmente rapidement en s'éloignant des côtes. Il faut alors avoir recours à de **l'éolien flottant**, qui repose sur un flotteur. Si certains sites d'éolien posé peuvent encore être développés, notamment en Manche et au nord de la Bretagne, l'éolien flottant représente désormais **l'essentiel du potentiel** pour développer la filière de l'éolien en mer en France. Aujourd'hui moins mature que l'éolien posé, l'éolien flottant commence tout juste à se déployer sur la base de prototypes ou de fermes pilotes [292]. Au niveau mondial, seuls une poignée de parcs commerciaux sont aujourd'hui en service. L'éolien flottant est aussi plus cher que l'éolien posé, en raison de cette moindre maturité, mais également d'une plus grande complexité d'installation et de raccordement.

Les délais d'instructions et de recours sont élevés

Les délais d'instruction des dossiers par les services DREAL et DDT constituent une part significative du délai total d'un projet éolien ou solaire, 3 ans typiquement, avec de fortes variations suivant les territoires. Les développeurs déplorent régulièrement des délais d'instruction importants et en hausse, pointant notamment le sous-effectif des services instructeurs. Selon la filière, **quelques centaines à un millier de postes supplémentaires dans les administrations concernées permettraient de lever ce goulot d'étranglement**.

À cela s'ajoute la durée des éventuels recours de la part d'opposants à certains projets, auprès des tribunaux administratifs. Ceux-ci étant saturés par des dossiers de tout type, la décision peut prendre des années, pour une durée d'instruction réelle de quelques semaines. Là aussi, **il s'agit de lever ce frein en dotant les instances concernées de moyens supplémentaires** et/ou en étudiant la possibilité de créer des instances dédiées à ce type d'affaires.

Une fausse solution de facilité consisterait à freiner sur l'éolien terrestre, sur lequel les recours sont fréquents, au seul profit du photovoltaïque, sur lequel les recours sont moindres. Cela n'est pas souhaitable, car **solaire et éolien sont complémentaires** en Europe : le premier est plus simple à déployer et produit davantage le jour et l'été, tandis que le second est plus délicat à déployer mais produit également la nuit et l'hiver – là où la consommation est la plus élevée.

Notons que l'opposition aux EnR, si elle s'illustre par de nombreux recours locaux, est loin d'être généralisée : plusieurs enquêtes d'opinion ont montré un fort soutien d'ensemble de la

population française aux énergies renouvelables, éoliennes et (plus encore) solaires, d'autant plus fort que les individus habitent à proximité de parcs éoliens ou solaires [293, 294].

Enfin, au-delà de la question des délais, **un assouplissement des lois et exigences les plus sévères, parfois sans équivalent dans les autres pays ou dans les autres secteurs, permettrait d'accélérer le déploiement de l'éolien et du PV**, à condition naturellement que cela ne soit pas rédhibitoire pour les autres enjeux légitimes concernés : biodiversité, patrimoine, défense, etc.

Des filières industrielles qui ont besoin d'un cadre pour réussir leur montée en puissance et/ou leur relocalisation

Le déploiement rapide de ces énergies nécessite aussi un effort industriel important du côté des fabricants de panneaux solaires et d'éoliennes. Sur le PV, les panneaux sont aujourd'hui essentiellement importés, principalement de Chine. Il y a là un enjeu de souveraineté plus que de disponibilité. Plusieurs projets de gigafactories, tels que Carbon (à Fos-sur-mer) et Holosolis (à Hambach), visent à produire des panneaux sur notre territoire. Chacun de ces sites pourrait à lui seul produire 5 GW par an, soit l'ensemble de la demande actuelle française. **Cette production nationale de panneaux devra toutefois être encouragée et protégée** par une politique industrielle et commerciale adéquate. Il faut pérenniser les débouchés des usines françaises en assurant dans la durée un développement du PV correspondant, et il faut privilégier des panneaux produits localement pour les nouveaux projets.

Sur l'éolien, en revanche, les principaux producteurs sont d'ores et déjà des entreprises européennes telles que Vestas (danois), Siemens-Gamesa (germano-espagnol), Nordex (actionnariat espagnol, siège en Allemagne) ou encore Enercon (allemand). **Une partie de la chaîne de valeur est d'ailleurs localisée en France, notamment pour l'éolien en mer** : Siemens-Gamesa possède ainsi une importante usine au Havre pour la production de pales et l'assemblage de turbines, LM Wind produit des pales à Cherbourg, Prysmian fabrique des câbles sous-marins dans l'Yonne et les Chantiers de l'Atlantique ont une usine de production de sous-stations électriques de raccordement à Saint-Nazaire. Selon la Direction Générale de l'Energie et du Climat (DGEC) : « à ce jour, environ un tiers des capacités de production européennes pour les turbines, pales et sous-stations électriques sont situées en France » [295].

L'assemblage et l'installation des parcs éoliens en mer nécessitent également des infrastructures conséquentes : l'assemblage d'un demi-GW a ainsi réquisitionné le hub logistique du port de Saint-Nazaire pendant 6 mois. Les bateaux spécialisés requis pour l'installation des éoliennes sont aussi en nombre très limité.

Les entreprises, et principalement les fournisseurs, doivent mobiliser des effectifs importants sur une durée limitée, puis les redéployer sur d'autres chantiers après les pics d'installation. Les filières EnR sont en concurrence avec d'autres secteurs pour attirer des compétences pointues pour l'éolien en mer. Or l'absence de branche structurée des EnR désavantage ses employeurs par rapport à d'autres filières installées de longue date et/ou plus centralisées. Des pénuries sont particulièrement redoutées sur les emplois de techniciens et ouvriers d'installation et de maintenance, soudeurs, électromécaniciens, et ingénieurs de projet. Plus généralement, une hausse des effectifs totaux de 26 à 140 % sera nécessaire d'ici à 2050 (voir Figure 67 dans la partie 2).

Dans ce contexte, les « stop and go » sont particulièrement délétères. Les périodes de pause représentent des pertes sèches pour des acteurs économiques aux coûts fixes élevés, tandis que les périodes d'accélération trop brutales risquent de se heurter aux goulots d'étranglement précités. Plus généralement, les changements de rythmes sont déstabilisateurs pour la filière, d'autant plus qu'elle ne peut redémarrer instantanément après un ralentissement, compte tenu des inerties industrielles en jeu. **Il faut donc assurer un déploiement constant, continu, prévisible et anticipé de la filière.**

Des durées de raccordements aux réseaux de transport et de distribution élevées, et en augmentation

Enfin, les enjeux réseau associés au déploiement des EnR sont critiques. **L'éolien et le solaire étant des moyens de production électrique décentralisés, ils nécessitent un effort de raccordement important aux réseaux de transport (RTE) et plus encore de distribution (ENEDIS).** Or ceci s'inscrit dans un contexte de triple défi pour la filière, qui doit simultanément moderniser un réseau vieillissant, l'adapter au réchauffement climatique, et le métamorphoser pour permettre la transition bas-carbone [296]. Celle-ci implique en effet de raccorder des millions de sources d'électricité décentralisées, et des centaines de milliers de nouveaux « consommateurs », des bornes de recharges des VE aux gros industriels électrifiant leurs procédés.

Nombreux sont les développeurs et services instructeurs qui constatent aujourd'hui des **délais de raccordement élevés et en forte hausse**, jusqu'à 7 ans pour un parc éolien dans certains territoires. Cela est dû à des effectifs insuffisants pour faire face au déploiement rapide des filières éoliennes et PV observés ces dernières années, et notamment au foisonnement de petits projets PV. Face à cette situation, la filière des réseaux électriques s'organise pour recruter les 8 à 12 000 professionnels formés qui lui manquent chaque année d'ici à 2030 et développer les compétences de ses salariés [297]. **Le déploiement ou l'adaptation des formations nécessaires prend près de trois ans, et nécessite un engagement soutenu et durable dans chaque région concernée.**

Au-delà du raccordement, la forte pénétration des EnR variables (PV et éolien) dans le mix électrique français soulève aussi des questions d'**équilibre** et de **stabilité** du réseau ainsi que d'approvisionnement en matières premières. Comme nous le verrons dans nos bouclages énergie et cuivre (lire la deuxième partie de ce rapport), aucune de ces problématiques ne remet en cause le nécessaire déploiement massif de l'éolien et du solaire.

Il faut permettre le déploiement des filières EnR au bon rythme en limitant les goulets d'étranglements et en donnant un horizon de long-terme clair et stable

Les EnR, solaire et éolien en tête, sont vouées à jouer un rôle absolument incontournable dans le mix électrique français des années et décennies à venir, dans un contexte où l'électricité prendra elle-même une place de plus en plus prépondérante dans le mix énergétique hexagonal. **Il faut poursuivre le déploiement rapide du solaire, maintenir voire accélérer celui de l'éolien terrestre et accompagner la forte montée en puissance de l'éolien en mer.**

Des difficultés significatives risquent toutefois, si rien n'est fait, de limiter la capacité totale d'EnR installée et/ou le rythme d'installation : disponibilité du foncier, délais

d'instruction, de recours et de raccordement, capacités humaines, industrielles et logistiques. **Il faut lever ces goulots d'étranglement aussi vite que possible**, et nous avons formulé ici plusieurs préconisations en ce sens.

Plus globalement, **la filière EnR a besoin d'un pilotage d'ensemble, d'un horizon de long-terme et d'un cadre stable**. Sur le modèle de la DINN (Délégation Interministérielle au Nouveau Nucléaire, voir notre chantier nucléaire), cela pourrait être orchestré par une **Délégation Interministérielle aux EnR (DIEnR)**, en charge de la planification de la filière et des arbitrages attenants.

Contact

Clément Caudron

Chef de projet Transition Robuste

clement.caudron@theshiftproject.org

Héloïse Lesimple

Pilote communication et affaires publiques Transition Robuste

heloise.lesimple@theshiftproject.org

www.theshiftproject.org